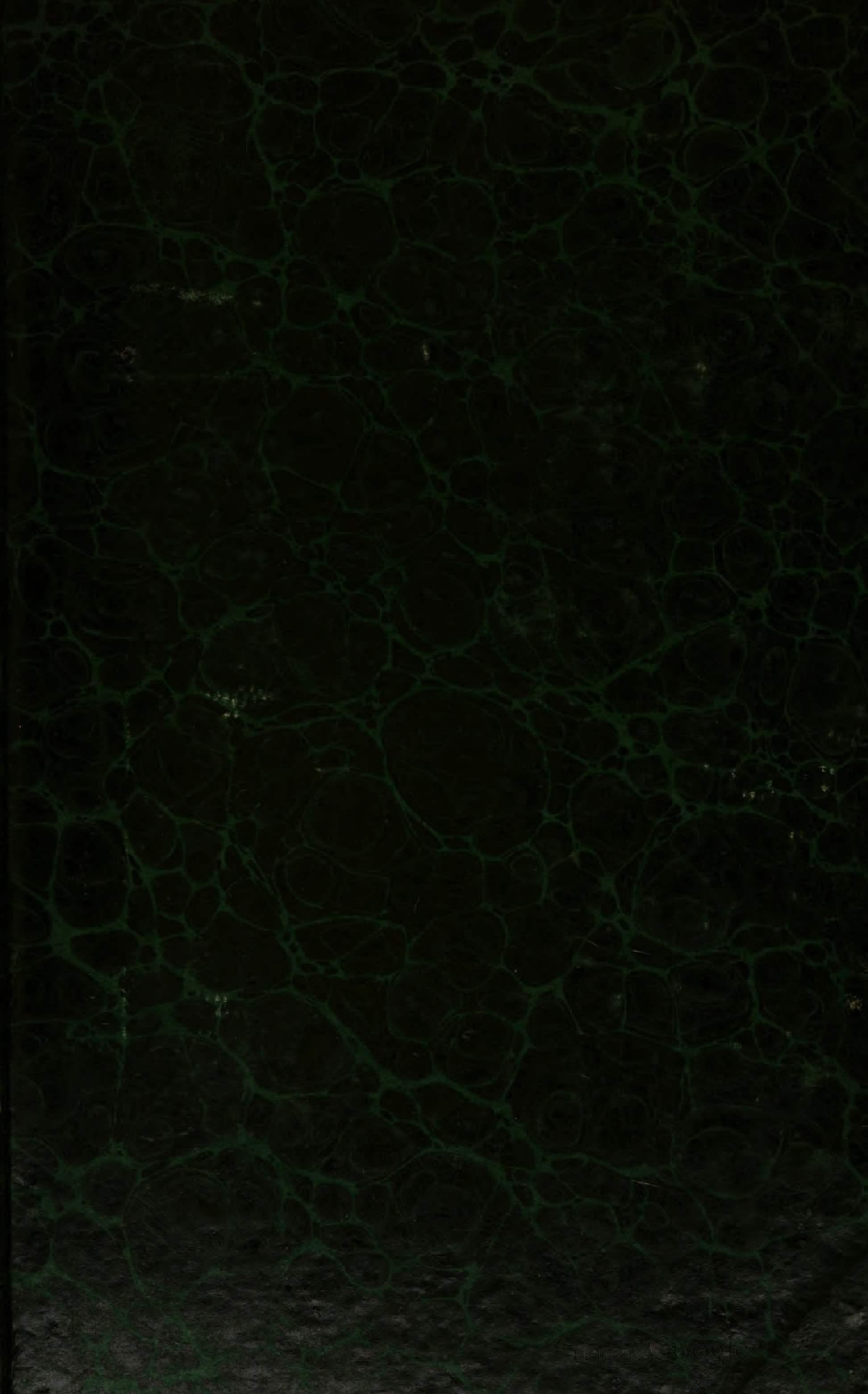




à Monsieur Jean de Charpentier
hommage respectueux de
l'auteur

H Lecoq

DES

GLACIERS ET DES CLIMATS,

OU

DES CAUSES ATMOSPHÉRIQUES EN GÉOLOGIE.

Recherches sur les forces diluviennes, indépendantes de la chaleur centrale, sur les phénomènes glaciaire et erratique;

PAR

HENRI LECOQ,

PROFESSEUR DES SCIENCES NATURELLES DE LA VILLE DE CLERMONT-FERRAND.

PARIS,

Chez P. BERTRAND, ÉDITEUR,

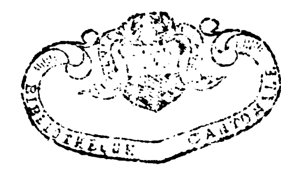
LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE,

rue Saint-André-des-Arcs, 65.

STRASBOURG,

Chez Veuve LEVRAULT, libraire, rue des Juifs, 33.

1847.



DES GLACIERS ET DES CLIMATS,

OU DES

CAUSES ATMOSPHÉRIQUES EN GÉOLOGIE.

INTRODUCTION.

Les esprits préoccupés dans ces derniers temps des questions géologiques relatives à la chaleur centrale et aux soulèvements des chaînes de montagnes, ont été un peu détournés des études qui n'avaient pas un rapport direct avec ces grands et incontestables phénomènes. On a peut-être négligé les autres points importants de la géologie, et accordé trop de puissance à des causes qui, en effet, ont donné la théorie d'un grand nombre de phénomènes inexpliqués jusqu'ici.

Dans l'appréciation de ces différentes causes une question très-vaste est restée comme une énigme, c'est celle des blocs erratiques et du terrain alluvien, en donnant à ce mot l'extension nécessaire pour lui faire comprendre tous les terrains de transport.

L'hypothèse d'une température plus basse qui aurait régné sur notre planète, et pendant laquelle les glaciers se seraient indéfiniment étendus, est en contradiction avec tous les faits, même avec ceux qui confirment cette ancienne extension.

Or, ce développement nous paraît incontestable, et l'immense dépôt des terrains de transport exige aussi que l'on admette de grands lavages, des lavages longtemps continués et rarement instantanés, comme ceux qui auraient été produits par le soulèvement d'une chaîne de montagnes et le déplacement momentané des eaux.

D'un autre côté, la présence dans les alluvions anciennes de plantes et d'animaux de pays plus chauds que les nôtres ne le sont actuellement, indique une température plus élevée que de nos jours.

Mais par une tendance naturelle à généraliser on a attribué à la chaleur centrale l'ancienne température de nos climats, sans songer qu'à l'époque diluvienne, quelque reculée qu'on la suppose, l'écorce terrestre avait sensiblement la même épaisseur qu'aujourd'hui, et que les calculs, au moyen desquels on a reconnu que la chaleur interne était à peine sensible à la surface, pouvaient être tout aussi vrais, en retranchant par la pensée les terrains diluviens, les formations tertiaires et d'autres sédiments peut-être, pour les restituer aux continents et aux sommets d'où les eaux les avaient entraînés.

Si une température plus élevée au commencement de la période diluvienne est une chose prouvée, si cette température ne peut être attribuée à la chaleur centrale, il faut la chercher, ou dans la hauteur et la densité plus grandes de l'atmosphère, ou dans l'action directe des rayons solaires. Or, cette dernière cause paraît la seule probable, la seule possible. Le refroidissement lent et séculaire du soleil, ainsi que des autres astres de notre système planétaire, n'est pas une idée absurde ni incompatible avec ce que nous connaissons maintenant sur l'histoire des corps célestes et notamment des nébuleuses.

La généralité des phénomènes diluviens et glaciaires et surtout de ceux qui se sont développés aux deux extrémités de notre planète, exige une explication générale qui se rattache à une cause astronomique.

L'élévation de la chaleur du soleil, et, par conséquent, le passage alternatif des deux extrémités du globe, de la température équatoriale à un abaissement suffisant pour que l'eau puisse se congeler, donne l'explication de tous les phénomènes diluviens, du transport des blocs erratiques, de l'extension limitée des glaciers, de la liaison de tous les terrains de transport et de la faiblesse des forces agissantes actuelles, quand on compare leurs effets à ceux que devaient produire des pluies tropicales, combinées dans certaines circonstances avec un abaissement de température suffisant pour les transformer en neige.

Ainsi, loin de nous ranger du côté des glacialistes qui regardent la terre comme ayant été soumise à une période de froid très-vif et de longue durée, nous pensons, au contraire, que l'intensité des phénomènes diluviens et glaciaires tient à une élévation de température de la surface du globe, indépendante de la chaleur centrale, et liée par conséquent à l'action calorifique du soleil, dont nous admettons la diminution lente et progressive.

Si les géologues avaient pu trouver une théorie qui conciliât l'ancienne extension des glaciers avec les notions qui passent pour démontrées en géologie, ils auraient admis sans difficulté des faits aussi saillants que ceux du burinage, des galets glaciaires et des anciennes moraines.

Mais tous ceux qui se sont occupés de cette partie si curieuse de la physique du globe, ont toujours voulu chercher la cause de l'extension des glaciers dans un abaissement général de température, et dès lors naissaient des impossibilités contre lesquelles il fallait s'arrêter. Plusieurs ont nié cette extension et ont voulu voir l'œuvre de grands courants dans des lieux qui portaient réellement l'empreinte de vastes glaciers, tandis que d'autres, et surtout les géologues suisses, des preuves en main et entraînés par une sorte de conviction de localité, à laquelle on donne involontairement trop d'importance en géologie, ont cru voir des glaces envahissantes anéan-

tir la vie sur notre globe et le couvrir de frimas séculaires.

La question, au point où elle est arrivée dans ces derniers temps, excite un vif intérêt. Elle est partagée entre *les glacialistes* qui voient l'extension illimitée des glaciers à une époque voisine de la nôtre, ceux qui veulent l'état actuel sans changement, et *les glaciéristes* qui admettent une sorte d'intermédiaire, acceptant à divers degrés l'extension de ce phénomène.

Au moyen des faits très-nombreux qui ont été recueillis et des études consciencieuses des géologues suisses, nous pensons que la question est avancée maintenant, et nous croyons avec un des savants les plus distingués de notre époque « que l'étude, soit « des glaciers, soit des alluvions, ne tardera pas à amener une certitude sur les causes de la dispersion des « blocs, en même temps qu'on arrivera à des observa- « tions tout à fait incompatibles avec la température « basse générale, nécessaire pour la théorie des glaces « universelles. »[1]

Nos études sur les terrains d'alluvion, faites d'abord dans le nord et le midi de la France, et celles que nous avons pu faire ensuite sur l'île primitive centrale, nous avaient fait considérer tous ces terrains alluviens comme indépendants des phénomènes glaciaires; nous étions donc tout à fait opposé aux idées

1 Boué, Bulletin de la Société géolog. de France; t. XIV, p. 445.

que quelques géologues avaient mises en avant sur l'ancienne extension des glaciers, quand parut l'ouvrage de M. Agassiz.

La lecture de ce travail à la fois si intéressant et si remarquable, nous détermina à aller sur les lieux mêmes étudier les glaciers et les blocs erratiques, avec l'espoir de juger les choses autrement que ne l'avait fait le savant professeur de Neufchâtel. Nous avons renouvelé nos voyages sur plusieurs points des Alpes, nous avons examiné consciencieusement les faits, et nous avons été conduit à admettre l'extension limitée des anciens glaciers, mais non l'hypothèse de M. Agassiz, que nous croyons tout à fait en opposition avec les faits qu'il a recueillis lui-même.

C'est ainsi que nous avons été amené à chercher la cause qui avait pu donner lieu à de puissants glaciers; car, cette cause trouvée, la plupart des alluvions devaient avoir pour origine des actions analogues; et du moment où nous avons été bien convaincu que la chaleur était nécessaire à la formation des glaciers, que, d'un autre côté, la présence de fossiles équatoriaux, dans toutes les régions tempérées, prouvait une élévation de température à une époque encore très-récente, il nous a semblé qu'il était impossible de rattacher ce développement de chaleur à l'ancien état d'incandescence du globe, et que nous ne pouvions en attribuer la cause qu'à l'action solaire et par conséquent au climat.

Ce n'est donc point une hypothèse préconçue que nous voulons essayer de soutenir, mais une simple explication qui découle des faits observés.

Quand une théorie a été obtenue de cette manière, il faut en quelque sorte en faire la preuve; c'est de redescendre du point où l'on est arrivé, et de voir si des faits nombreux, qui jusque-là étaient restés sans liaison, ne peuvent pas s'y rattacher, et si la théorie n'indique pas elle-même des résultats que l'on n'avait pas encore cherchés. Si alors des observations ultérieures démontrent la réalité des espérances que l'on avait conçues, la théorie devient elle-même une vérité, et si elle ne peut atteindre ce degré de certitude, elle a toujours l'avantage d'être utile, en rattachant, d'une manière raisonnable et possible, des faits épars et sans liaison, qui échappent à notre mémoire et finissent par perdre de leur valeur.

En admettant le refroidissement du soleil comme la cause des changements de climat qui ont eu lieu sur la terre, nous nous trouvons engagés à envisager sous un point de vue nouveau les influences atmosphériques et leurs résultats, depuis l'époque où la chaleur centrale, cessant d'agir d'une manière sensible à la surface, a été remplacée par l'action bien moins uniforme des climats solaires.

Cette étude nous rejette vers l'examen des premiers terrains de sédiment pour tâcher de découvrir le dernier terme d'une longue période géologique : celle,

pendant laquelle la chaleur centrale était la principale cause de toutes les actions qui modifiaient la surface de la terre, et le premier terme d'une série nouvelle, dont les effets ont été presque les mêmes, quoique leur cause soit essentiellement différente.

Nous ne pouvons donc admettre la théorie des causes actuelles si savamment développée par M. Lyell. « Il est quelquefois possible, avec un peu d'effort d'es-« prit, dit M. de la Bêche, d'attribuer certains dépôts « de matières de transport à l'action longtemps con-« tinuée des agents naturels que nous connaissons au-« jourd'hui; mais dans d'autres cas, de pareilles expli-« cations ne sont ni admissibles ni rationnelles. »[1]

L'opinion à laquelle nous ont conduit une assez longue expérience et des observations réfléchies, c'est que les causes actuelles, avec leur degré ordinaire d'intensité, sont incapables de produire ces phénomènes géologiques que nous offre partout la surface de notre planète; mais c'est dans l'étude de ces forces aujourd'hui agissantes, que nous devons chercher la connaissance de tous les faits qui ne sont plus contemporains, et dont l'analogie avec les causes actuelles généralement grandies, peut seule nous donner la clef.

Tous les détails qui se rattachent à cette grande question du refroidissement du soleil et des change-

1 De la Bêche, Manuel de géologie, p. 212.

ments séculaires des climats, se lient et s'enchaînent tellement, qu'il est presque impossible de les étudier avec une certaine méthode.

L'ordre chronologique, malgré ses inconvénients, nous a paru le plus naturel, sauf à revenir ensuite sur des généralités qui peuvent s'appliquer à tous les temps et à toutes les périodes.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA CHALEUR CENTRALE DE LA TERRE ET DES TERRAINS DE SÉDIMENT NON FOSSILIFÈRES.

Il n'y a guère de géologue maintenant qui refuse d'admettre la chaleur centrale, surtout depuis que M. Cordier a en quelque sorte popularisé cette théorie par la publication de son important travail. Elle explique si naturellement un grand nombre de phénomènes, sur lesquels on avait si longtemps et si ténébreusement discuté, qu'il est impossible de ne pas en faire la base à laquelle viennent se relier toutes les observations.

Tous les savants n'admettent pas cependant l'incandescence intérieure de la terre. Ainsi, Poisson n'adopte pas cette opinion, et paraît disposé à alléguer une autre cause à la température des parties intérieures du globe. Il fait observer que les régions cosmiques dans lesquelles se meut le système solaire ont une température qui leur est propre; que cette température peut être différente dans différents points de l'univers, et que s'il en est ainsi, la terre doit être quelque temps à acquérir la température du point de l'espace où elle est arrivée. Cette température se propagera graduellement de la surface aux portions intérieures.

Ainsi, si le système solaire quitte une région plus chaude, pour entrer dans une plus froide de l'espace, la portion de terre au-dessous de la surface manifestera des traces de cette haute température qu'elle avait acquise dans le temps, et cette manifestation ne justifie, en aucune façon, l'opinion que l'accroissement de température augmente constamment à mesure que l'on approche du centre. Quoique cette manière de voir puisse ne pas recevoir l'approbation des géologues, il est nécessaire d'en tenir compte, afin de ne pas donner une confiance exclusive à l'opinion contraire; car dans les sciences on ne doit être guidé que par la recherche de la vérité.

Cependant il faut avouer que l'incandescence du globe rend mieux raison de tous les phénomènes, s'applique à tous les détails, et acquiert ainsi une telle probabilité, qu'il est bien difficile de ne pas l'adopter et de ne pas considérer la terre ainsi que l'avaient déjà fait Leibnitz et Buffon, comme un soleil éteint, dont la croûte seule est refroidie.

Le baron Fourier est arrivé aussi, par des considérations tout à fait différentes, à conclure qu'une chaleur très-intense a primitivement pénétré toutes les parties de notre globe. Il pense que cette grande chaleur s'est dissipée dans les espaces planétaires qui nous environnent, et dont il considère la température d'après les lois du rayonnement de la chaleur comme égale à — 50 centigrades. Il a conclu en outre que la

terre a presque atteint sa limite de refroidissement. La chaleur primitive contenue dans une masse sphéroïdale égale en grandeur à notre globe, diminuerait plus rapidement à la surface qu'à de grandes profondeurs, où une température élevée se maintiendrait pendant un long espace de temps. Il a déduit de ces circonstances, ainsi que de la température des mines et des sources, qu'il y a une cause intérieure de chaleur, qui élève la température de la surface au-dessus de celle que l'action seule du soleil pourrait produire; mais cette élévation est excessivement faible, car pendant les vingt derniers siècles la diminution de la température terrestre aurait été moindre de 1/300 de degré.[1]

Laplace, par une autre méthode, est parvenu au même résultat[2]. Mais ce refroidissement n'est insensible à la surface que parce que les pertes de chaleur y sont incessamment compensées par l'effet d'une propagation, qui procède uniformément du dedans au dehors, compensation presque complète, qui approche continuellement de l'état d'équilibre, et que l'expérience et la théorie expliquent parfaitement. Les pertes de chaleur n'ont donc d'influence qu'à de grandes profondeurs; d'où il résulte que l'écorce solide du

---

1 Fourier, Annales de chimie et de physique; tome XXVII, page 165.

2 Annales de chimie et de physique; tome VIII, p. 414.

globe continue de s'accroître journellement à l'intérieur par la cristallisation des matières fondues, en sorte que la formation des roches cristallisées a toujours lieu, et ne cessera qu'après un temps immense, c'est-à-dire lorsque le refroidissement aura atteint sa limite.[1]

Ainsi la terre aurait été d'abord brillante et incandescente comme le soleil, répandant sur la lune une vive clarté, et l'échauffant de ses rayons comme le soleil nous enveloppe maintenant des siens. Sa surface se serait peu à peu refroidie, en abandonnant sa chaleur à l'espace, et une croûte solide, que l'on peut supposer épaisse de 60 à 100 kilomètres, se serait formée sur un noyau, qui conserve encore sa fluidité originaire, et dont la température atteint sans doute une extrême élévation. Dès lors rien de plus facile que d'expliquer la chaleur de ces nombreuses sources thermales qui paraissent de tous côtés, de se rendre compte de l'intermittence des Geysers et de la composition de l'eau des Lagonis; rien de plus simple que de donner une théorie vraisemblable des phénomènes volcaniques, des grands dégagements de gaz, de concevoir les tremblements de terre et le soulèvement des chaînes de montagnes. La formation des filons par injection et par sublimation, la dolomisation et le métamorphisme, les phénomènes de liquation et

1 Cordier, Annales des mines.

une foule de petites actions chimiques, qu'il était impossible d'expliquer, viennent se ranger tout naturellement à leur place dans la théorie du feu central, et en démontrer la vérité.

Tout nous indique donc une chaleur intérieure, indépendante de celle de la surface, et cette idée, anciennement admise et nouvellement soutenue, mérite certainement toute la confiance des géologues.

Nous n'avons pas à nous occuper, dans ces recherches, de ces diverses actions plutoniques, qui continuent encore de nos jours avec une certaine activité; nous devrons cependant examiner les modifications qu'elles peuvent apporter aux causes atmosphériques, car il est impossible que deux actions aussi puissantes que la chaleur solaire et le feu central, agissant en général à la surface du globe, restent sans influence réciproque.

Plus on étudie les phénomènes géologiques, plus on reste convaincu de l'analogie des anciennes forces agissantes avec celles qui se manifestent encore de nos jours et de l'insuffisance de ces dernières, si on ne leur accorde pas une intensité bien supérieure à celle qu'elles possèdent aujourd'hui.

La grandeur des effets produits était alors en rapport avec la violence des causes, et quoique les périodes anciennes aient été très-longues, il est bien probable qu'elles ont eu moins de durée que celles qui sont plus rapprochées de notre époque.

On se ferait peut-être une idée assez exacte de ces périodes, en les comparant aux divers termes d'une progression géométrique, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, etc.; non que nous veuillons en aucune manière abréger les temps des anciennes périodes, mais allonger considérablement les dernières.

L'uniformité des temps et des périodes est incompatible avec la théorie de la chaleur centrale; car il faut, pour être conséquent, admettre aussi que, lors de l'incandescence, les actions qui se passaient à la surface étaient plus intenses et plus violentes, comme cela a toujours lieu dans les réactions chimiques. La croûte plus mince, les injections plus fréquentes, les soulèvements plus nombreux, les tremblements de terre plus souvent répétés, des pluies plus considérables et des lavages plus complets, devaient nécessairement résulter d'une température plus élevée, et à mesure que la chaleur diminuait, les actions chimiques devaient devenir de plus en plus faibles.

Rien ne justifie donc le reproche adressé aux géologues par M. Lyell, quand il leur dit : « En se livrant « à l'examen soit des forces ignées, soit des forces « aqueuses, les géologues ont été forcés de représenter « la nature comme ayant été aux périodes anciennes « aussi prodigue de violence qu'avare de temps. »[1]

Dans le principe de cette incandescence, toute cause

1 Lyell, Principes de géologie. Traduction, tome 1, p. 436.

atmosphérique était nulle sur la terre; la chaleur intérieure dominait celle qu'elle pouvait recevoir du soleil. De grands phénomènes chimiques et physiques devaient avoir lieu sous l'énorme pression d'une immense atmosphère qui, sans doute, contenait encore, outre son oxigène actuel, celui qui entre pour un tiers en volume dans la composition de l'eau, et pour la forte moitié en poids dans la silice de toutes les roches.

Lorsque la température suffisamment abaissée permit à l'eau de tomber sur la terre et d'osciller à une haute température sur des roches à peine solidifiées, les dégradations commencèrent et les premiers terrains de sédiment en furent le résultat.

Deux forces tout à fait inverses contribuaient ensemble à leur création, l'une au moyen d'une température élevée, l'autre par une action chimique et mécanique à la fois.

Il semble naturel de considérer comme point de départ, comme une sorte de $\underline{^{o}}$ ou d'horizon géognostique, ces terrains stratifiés inférieurs non fossilifères qui sont répandus sur diverses parties du globe avec des caractères presque identiques, et qui prouvent qu'il existait alors une chaleur très-élevée qui masquait les saisons et qui émanait nécessairement du centre de la terre.

Ces roches où dominent le gneiss et les micaschistes formeront donc pour nous un terrain primitif ou

originaire, au-dessus duquel tous les autres terrains appartiennent aux sédiments chimiques et de transport, tandis qu'au-dessous ils sont tous d'origine plutonique.

Si nous supposions que la terre, pendant son refroidissement, n'a éprouvé aucune secousse; si nous admettions une succession tranquille des différentes couches opérées par dépôt et par refroidissement; si enfin les phénomènes qui leur donnent naissance s'étaient étendus régulièrement sur tout le sphéroïde terrestre, il serait résulté de cet arrangement qu'au-dessous de la couche originaire de nouveaux terrains se seraient solidifiés dans un ordre constant, de sorte que les plus anciens seraient les plus rapprochés de la surface, et les plus nouveaux, les plus profondément placés. Au-dessus de cette couche primitive se seraient déposés tous les terrains de sédiment, et de telle manière, que les plus anciens seraient aussi en contact avec cette première couche, et les plus nouveaux seraient situés tout à fait à la surface. Par cette disposition, deux ordres de dépôts se seraient groupés en sens différents, au-dessus et au-dessous de l'horizon géologique, et devraient offrir d'autant plus de différences entre eux, qu'ils occuperaient une place plus rapprochée de l'époque actuelle dans l'échelle ascendante ou descendante de chaque série.

Les rapports qui doivent nécessairement avoir existé au point de contact des deux ordres de création,



doivent avoir graduellement diminué à mesure que les couches qui les séparaient sont devenues plus épaisses, et, à une certaine époque, toute action de l'une sur l'autre a dû cesser entièrement. Or, ces phénomènes sont précisément ceux qui, selon toute apparence, se sont passés dans les différentes phases du refroidissement de notre planète, avec cette différence, que de violentes secousses ont dérangé la régularité des dépôts; des inégalités du sol ont circonscrit l'étendue des sédiments, et, des fractures opérées dans des temps plus ou moins rapprochés ont permis aux matières encore pâteuses, qui se solidifiaient à l'intérieur, de se faire jour au dehors, de s'épancher à la surface ou de se glisser entre les couches des différents sédiments. Il est résulté de toutes ces commotions d'immenses dérangements dans la stratification des terrains, de grandes irrégularités dans l'épanchement des roches intérieures, de fréquentes actions de contact entre les roches incandescentes et celles qui s'étaient formées sous l'eau; enfin, une foule de réactions que nous ne pouvons examiner dans un travail uniquement consacré aux causes atmosphériques.

Si les gneiss et les micaschistes ne sont pas les premières roches solidifiées à la surface du globe, ce sont du moins les premières dont les caractères indiquent peut-être l'action de l'eau et d'une chaleur très-intense. Gneiss, micaschiste et même granite, passent

de l'un à l'autre avec la plus grande facilité, au point que l'on pourrait, à la rigueur, les considérer comme des modifications d'une seule et même espèce de roche. On les voit quelquefois alterner, au moins les deux premiers, revenir ensuite comme à des époques périodiques, reparaître au milieu des autres, se montrer comme roches indépendantes et, dans d'autres circonstances, en lits subordonnés.

Jamais il n'existe de limites tranchées entre des masses de gneiss et des feuillets de micaschiste; jamais le granite n'est séparé brusquement de ces deux roches, et l'on voit sa pâte se charger de mica, puis de quartz, et prendre peu à peu les caractères de la substance qui va le remplacer.

Telle est la première écorce du globe, la croûte qui s'est formée très-probablement au contact de l'eau et de la surface incandescente de la terre.

L'apparition des gneiss et des micaschistes est une conséquence forcée du feu central. Une chaleur intense comme celle qui a dû exister à cette époque sur notre planète, forçait les eaux de rester dans l'atmosphère; toute la masse qui remplit maintenant le bassin des mers, toute celle qui est infiltrée dans le sol et absorbée par la portion refroidie de la terre, était alors en vapeur. Que l'on juge de l'énorme pression à laquelle la partie extérieure du globe était soumise, lorsqu'une atmosphère aussi étendue pesait tout entière sur la pellicule qui commençait à se figer.

Ces anciens sédiments non fossilifères se sont vraisemblablement étendus sur la totalité de la terre. Il fallait qu'il s'y opérât, dès cette époque, de grands lavages aux dépens des terrains granitiques ou des diverses roches plutoniques que les soulèvements multipliés amenaient au dehors, et que des pluies torrentielles, immédiatement vaporisées, dégradaient sans cesse avec une incroyable activité.

Il en est résulté que sur la surface presque entière de notre globe ces terrains ont acquis une grande épaisseur, dont on peut juger, sur plusieurs points, par la tranche des couches mises à découvert dans les soulèvements postérieurs. Ces masses, ainsi soulevées et déchirées, se sont dégradées de nouveau, et présentent généralement des montagnes escarpées à crêtes aiguës et déchiquetées, qui se reconnaissent facilement à leur aspect.

CHAPITRE II.

DES TERRAINS DE SÉDIMENT EN GÉNÉRAL.

On ne peut pas admettre que la température élevée de l'intérieur du globe ait pu se manifester très-longtemps au dehors avec la même intensité. Elle a dû être bientôt diminuée par les divers dépôts qui se sont accumulés à la surface de la terre, surtout après la formation des premiers sédiments, offrant, comme nous venons de le voir, une très-grande épaisseur. D'un autre côté, les roches conduisent très-mal la chaleur, et nous en avons de fréquents exemples dans le refroidissement des laves, dont l'extérieur, promptement solidifié, admet déjà des végétaux, quand l'intérieur est encore extrêmement chaud. Nous en trouvons d'autres preuves dans ces houillères embrasées, dans lesquelles les grès et les schistes sont en pleine fusion, tandis qu'à une faible distance la terre est refroidie et n'indique même pas l'embrasement intérieur. Cette faible conductibilité des roches explique le grand obstacle, que dut mettre la première croûte terrestre solidifiée à la transmission extérieure du feu central, qui, dès une époque très-reculée, a dû être peu sensible au dehors.

A mesure que ce refroidissement superficiel faisait des progrès, une croûte de plus en plus épaisse séparait la partie incandescente de l'extérieur, les vapeurs durent se condenser en plus grande quantité, et de vastes dépressions servaient de bassins au liquide qui se formait continuellement.

Aussitôt que les premiers soulèvements eurent produit des inégalités, les eaux ruisselèrent, dégradant les points sur lesquels elles tombaient, c'est-à-dire tous ceux qui étaient émergés, et les sédiments et les transports commencèrent.

La chaleur fut bientôt suffisamment abaissée pour permettre aux êtres vivants de se développer sur cette pellicule à demi refroidie, mais qui recevait encore assez de chaleur pour en tiédir les eaux. C'est alors que commença la longue série des terrains que nous allons examiner.

L'étendue des dépôts qui se sont formés à des époques différentes va en diminuant, à mesure que l'on approche des temps modernes. On conçoit, en effet, que les bassins dans lesquels ils se sont opérés, ont dû devenir de plus en plus nombreux, à mesure que des montagnes, en se soulevant, ont multiplié les arêtes qui les séparent. La terre s'étant ridée successivement, il en est résulté que les grandes dépressions ont souvent été partagées par des chaînes de montagnes, qui plus tard ont été croisées par d'autres soulèvements, en sorte que les roches créées dans

un de ces grands bassins primitifs, ont été émergées, tandis que d'autres se sont déposées dans des cavités plus petites, puisqu'elles n'étaient que des divisions de celles qui étaient antérieures à ces derniers bouleversements.

A mesure que les dépôts se localisaient, si l'on peut s'exprimer ainsi, leur niveau s'élevait aussi, parce que les sédiments les plus anciens ont d'abord comblé les parties les plus basses, et les plus récents ont souvent recouvert les autres. Ainsi, en faisant la part des soulèvements qui ont nécessairement dérangé l'horizontalité de toutes ces couches, on voit que les sédiments se sont primitivement déposés dans de vastes mers, dont les limites se sont peu à peu resserrées, au point que les dépôts supérieurs aux premiers sont aussi bien plus modernes. Il résulte de cette disposition étagée des grandes formations, que la position relative des mers et des continents actuels ne s'est établie que successivement; aussi les premières terres émergées, après la consolidation des terrains primaires, étaient des îles basses, qui étaient loin d'atteindre l'étendue des continents actuels. Des mers immenses les entouraient, et les dépôts commencèrent immédiatement dans leurs eaux. Les sédiments et les soulèvements tendaient à refouler ces eaux primitives dans des bassins plus profonds et moins étendus, où les dépôts se continuaient encore. Enfin, des mers locales ou d'immenses bassins d'eau douce se sont

aussi comblés de sédiments ou de calcaires formés par d'abondantes sources minérales, et ces dépôts se forment probablement encore de nos jours.

On a désigné sous le nom collectif de *terrains de sédiment*, des couches d'ordre très-différent, dont les unes sont bien de véritables sédimentations mécaniques comme les sables, les argiles, les grès, les conglomérats, et d'autres d'origine tout à fait étrangère à l'action atmosphérique; ce sont les couches calcaires qui, pour la plupart amenées par des sources minérales, ne sont qu'une continuation de l'action que l'intérieur de notre planète a exercée et exerce encore sur la partie externe.

Les marbres, la craie, une partie des marnes sont le résultat d'émissions abondantes d'eaux minérales très-riches en carbonate de chaux, qui s'étendait dans des mers ou des bassins d'eau douce, et produisait des couches de même nature, tantôt pures et plus souvent mélangées de particules terreuses, de sables, de graviers ou de cailloux, que les eaux courantes entraînaient continuellement dans les mêmes bassins.

Nous abandonnons, comme nous l'avons déjà dit, tout ce qui se rattache aux phénomènes plutoniques, parmi lesquels nous rangeons les eaux minérales, pour nous occuper seulement des effets produits par l'action solaire, depuis les temps les plus reculés jusqu'à notre époque.

Les terrains de sédiment, depuis les plus anciens

jusqu'aux plus modernes, offrent dans leur création trois conditions essentielles, qui appartiennent à tous, mais qui ne se retrouvent pas avec le même degré de développement aux diverses périodes géologiques.

La première de ces conditions est l'*érosion* ou l'enlèvement des matériaux, la seconde le *transport*, et la troisième le *dépôt*, et quoique aucun terrain formé au-dessus de la croûte consolidée du globe n'ait pu l'être sans que ces trois conditions aient été remplies, il est arrivé que l'une d'elles s'est trouvée quelquefois si prédominante en apparence, que rappelant la sédimentation ou le transport, on a donné à une portion du sol le nom de *terrains de sédiment ou de dépôt*, à une autre celui de *terrains de transport ou d'alluvion*.

L'inégalité des trois actions que nous venons d'énoncer, a donné aux terrains neptuniens des caractères essentiellement différents, et leur étude nous conduit à des conclusions très-curieuses sur l'ancien état de notre planète et sur son avenir.

Nous allons examiner ces trois conditions essentielles de la sédimentation aux divers âges de notre globe.

Érosion.

Les créations et les destructions s'opèrent continuellement sur la terre, aussi bien dans la nature inorganique que chez les êtres vivants, et nous en avons une preuve continuelle dans le phénomène de l'érosion.

Les roches qui sont abritées par les eaux, peuvent éprouver aussi les effets destructeurs de courants plus ou moins rapides; mais c'est principalement sur les continents émergés, que l'érosion s'opère avec une constance et une activité, que le peu de durée de notre existence ne nous permet pas toujours de juger très-sainement.

L'eau est évidemment le principal agent de destruction. Ses effets sont immenses; soit qu'elle tombe en gouttelettes des hauteurs de l'atmosphère, soit qu'elle descende avec impétuosité les vallées des montagnes, soit enfin que solidifiée par un abaissement de température, elle pèse de toute sa masse sur les sommets élevés, ou en arrache les débris au moyen des fleuves glacés qui viennent fondre dans les plaines.

Pour que l'eau puisse agir, le mouvement est nécessaire, mais à part l'action des vagues que le vent soulève, et qui viennent battre le rivage; c'est la chute de l'eau descendante et sa force motrice qui attaque le sol, l'use et le détruit.

L'eau qui descend des nuages, agit donc d'abord, en tombant, par son poids et par son action chimique et dissolvante, puis par sa marche plus ou moins rapide; elle use et détache des fragments tendant sans cesse à diminuer la hauteur des continents, et la profondeur des bassins, exerçant continuellement son action nivelante.

Si une fois toute l'eau qui existe dans l'atmosphère

était tombée et s'était rendue dans le bassin des mers, il est bien certain que l'érosion cesserait, et que les terres élevées ne seraient plus sensiblement dégradées; or, si cette circulation est alimentée, elle ne peut l'être qu'au moyen d'une force prodigieuse, qui porte l'eau dans l'atmosphère, la suspend et la précipite de nouveau sur la terre; admirables effets qui nous montrent la vapeur qui s'élève, les nuages qui flottent, la pluie qui tombe, et qui entretiennent sur notre planète l'existence des plantes et des animaux.

Chaque goutte d'eau ne perd sa force qu'après avoir détruit une parcelle du globe qu'elle a frappé.

Mais une cause existe qui forme la vapeur, cause tellement puissante, que depuis la création du monde, elle a soulevé, mille fois, cent mille fois et bien plus peut-être encore, toute l'eau contenue dans les bassins des mers, jusque dans les hautes régions de l'atmosphère, où elle l'a laissée retomber chaque fois sur la terre.

Cette cause, c'est la chaleur. La chaleur combinée à l'eau, c'est la vapeur, cet agent que l'homme a su s'approprier, qu'il a enfermé dans ses machines, qu'il a fait fonctionner avec bruit, avec fracas pour dompter les éléments et montrer son génie; tandis que la nature lui donnant pour enceinte l'étendue de l'atmosphère, opérant dans un majestueux silence, lui ordonne de faire circuler les fleuves, d'alimenter les glaciers, et de porter la vie jusque dans les déserts.

Si la chaleur n'existait pas, la grande machine, comme nos mesquins fourneaux, cesserait de fonctionner. La production de la vapeur est en rapport avec la quantité de chaleur, et tout ce que nous voyons sur la terre, nous indique qu'à une époque reculée, la température, plus élevée que de nos jours, favorisait davantage les moyens d'érosion et la destruction des terrains.

Nous verrons par la suite où nous devons chercher l'origine de cette élévation de température; si elle appartient au feu central, comme le pensent la plupart des géologues, ou si nous devons l'attribuer au soleil lui-même.

Transport.

Nous venons de reconnaître la force de l'érosion, et il nous est impossible de calculer ses immenses résultats; l'imagination elle-même est effrayée des prodigieux effets produits par toute l'eau, qui, depuis le commencement du monde, a été élevée à la hauteur moyenne de 3000 mètres, et qui est ensuite retombée de tout son poids sur le globe.

Une fois les matériaux arrachés aux terrains sur lesquels l'eau s'écoule, les fragments sont entraînés pour être déposés plus loin.

S'ils sont très-gros, ils marchent très-vite sur une

pente rapide, très-lentement sur une pente douce, où l'impulsion de l'eau est la seule cause de leur mouvement.

Les débris qui sont anguleux, comme le sont presque tous ceux qui viennent de se détacher des parois d'un cours d'eau, sont difficilement déplacés, mais ils éprouvent de continuels frottements de la part des cailloux plus petits et déjà arrondis, qui descendent avec la rivière, et ils finissent par prendre la forme ronde. Lorsqu'ils l'ont acquise, ils reçoivent encore entre eux des frottements réitérés, qui en détachent des matières pulvérulentes, que l'eau entraîne aussitôt; c'est ainsi que les galets se polissent, s'arrondissent et finissent même par se transformer en sables ou en gravier, au lieu de descendre directement jusque dans les bassins.

Ainsi, les matériaux peuvent changer de forme pendant le trajet, les masses anguleuses peuvent s'arrondir, le frottement peut les diviser à l'infini et les réduire en galets, en graviers, en sables, en argiles excessivement ténues, et toutes ces actions ont plus ou moins d'énergie selon la masse d'eau, sa vitesse et la nature particulière des débris qu'elle entraîne.

Les mêmes causes qui, augmentant l'évaporation et la circulation de l'eau sur la terre, pouvaient donner plus de force à l'érosion, devaient également accélérer la trituration des matériaux pendant leur transport, et plus il y avait de distance à parcourir du point

de départ au lieu de dépôt, plus grandes devaient être les altérations des matières transportées.

Or, les observations que nous pouvons faire sur les terrains de sédiment, sur leur ensemble, nous prouvent qu'aux époques géologiques reculées, les distances étaient moins grandes ou les cours d'eau plus rapides et plus volumineux, car la plupart des anciens sols transportés ont atteint des bassins dans lesquels ils se sont déposés, tandis qu'une partie des débris, que charrient maintenant les rivières et les ruisseaux, restent sur leurs rives ou à une certaine distance du point d'érosion, et forment ces terrains de transport ou d'alluvion si communs vers le pôle nord du globe et autour des principaux groupes des montagnes.

Il existe toutefois un mode de transport, pendant lequel les débris des roches n'éprouvent aucune altération; ils conservent leurs angles, leur grosseur, et changent de place sans changer de forme, entraînés ou plutôt voiturés par des glaciers qui descendent des hautes régions dans la plaine.

Ailleurs, c'est sur des radeaux de glace que les matériaux des terrains voyagent et se dispersent au loin; mais nous reviendrons sur les divers modes de transport, et sur le rôle que chacun d'eux a dû remplir.

CHAPITRE II.

Dépôt ou sédimentation.

En retranchant d'abord, comme nous l'avons fait, les dépôts chimiques, nous trouvons dans la sédimentation deux modes très-différents de création : d'un côté se trouvent les sédiments des mers et des lacs, des eaux stagnantes, nivelées ou à peine courantes, et de l'autre, ces délaissements de sables et de cailloux qui annoncent des actions plus locales, plus tumultueuses, et non une série lente, continue et tranquille de causes égales produisant des effets presque semblables.

Nous ne sommes témoins que des destructions qui s'opèrent sur la terre, car les eaux courantes détruisent et n'édifient pas, tandis que les eaux stagnantes, comme celles de la mer et des lacs, créent des terrains qui s'y déposent journellement, mais dont la formation n'est pas apparente à nos yeux.

La masse de sédiments qui se sont déposés sur le globe, indique une action immense de la part des eaux, et de quelque manière qu'on envisage la création des dépôts actuels, il est impossible d'y reconnaître cette même action et des forces aussi grandes que celles qui ont concouru au développement des anciens sédiments.

Il est vrai que des dépôts étendus se forment de nos jours, comme autrefois, dans de grands lacs et dans l'océan, et que nous ne les connaîtrons jamais;

mais ce que nous voyons à la surface dans les transports des alluvions, n'est plus en rapport avec les strates immenses qui se sont déposés autrefois, au moins dans les mêmes contrées.

Quelle masse énorme ont dû perdre successivement les continents émergés pour fournir les matériaux de toutes ces formations sédimenteuses qui ne sont que des débris? Il est bien vrai que les terrains de sédiment dans leur ensemble, représentent plus que la masse enlevée au sol préexistant, puisque tous les dépôts chimiques y sont réunis; mais le volume des grès est assez grand pour nous prouver qu'à toutes les époques de grands lavages ont eu lieu, et que des terrains soulevés à des hauteurs diverses, et par conséquent plus froids pour cette raison, ont été détruits et sont allés en former d'autres à une certaine distance: ce qui s'est déposé en un point doit nécessairement manquer dans un autre.

Ainsi, les causes atmosphériques détruisent au-dessus des eaux, elles édifient au-dessous, comme si l'océan n'abandonnait ses masses de vapeurs que pour reconquérir et ramener dans ses profondeurs les terres que les soulèvements séculaires ou instantanés détachent si souvent de son empire.



CHAPITRE III.

DES ANCIENS TERRAINS DE SÉDIMENT FOSSILIFÈRES.

Les plus anciens terrains fossilifères sont remarquables par l'identité de leur composition sur des points très-éloignés, et, comme nous le verrons dans la suite, par l'uniformité des fossiles qui s'y trouvent répandus. La chaleur centrale devait encore agir seule ou presque seule sur la terre. Les mers échauffées égalisaient facilement la chaleur sur la surface du globe; mais il devait y avoir, à cette époque, une grande évaporation, et, par suite, abondance de pluies et ravinement continuel des terres émergées.

La température des mers devait être loin de celle de l'eau bouillante, et par les dépouilles que nous trouvons dans le terrain silurien, nous devons supposer que cette élévation de température de l'océan ne dépassait guère, au moins pour les régions polaires et tempérées, le degré actuel de la surface de l'eau sous l'équateur.

L'atmosphère qui reposait sur l'océan et qui enveloppait un globe dont la température à la surface était presque uniforme, devait participer à cet état d'égalité dans la distribution de la chaleur; l'air devait

être très-humide, mais calme; car ses grandes variations, les vents impétueux, les pluies torrentielles, résultent toujours d'inégalités dans la température des couches atmosphériques; les averses, les tempêtes, enfin ces grandes agitations de l'air sont d'autant plus intenses qu'il y a plus de différences dans son état thermométrique.

Il devait donc y avoir à l'époque des terrains siluriens des pluies abondantes et calmes, qui tombaient avec une grande uniformité sur toute l'étendue des mers, et qui, dans le plus grand nombre de localités, ne détachaient des terres émergées que des parcelles peu volumineuses, qui caractérisent en effet les plus anciens sédiments.

Il fallait une cause bien active et bien générale pour produire ces terrains de transition, que l'on retrouve si développés sous les zones glaciales et tempérées, qui, depuis l'époque reculée de leur sédimentation, ont été disloqués par toutes les commotions, par tous les soulèvements postérieurs à leur dépôt; mais qui cependant ont aussi conservé leur horizontalité primitive sur d'immenses surfaces, comme MM. de Verneuil et Murchison l'ont reconnue en Russie, où le sol, s'il a été dérangé, ne l'a été que par un soulèvement lent et général.

Une uniformité presque aussi grande se retrouve dans le dépôt des houilles, mais il n'y aurait rien d'étonnant, que l'on découvrît plus tard des preuves de

l'existence ou de l'influence des climats solaires sur cette curieuse époque des temps géologiques.

Le grand développement des plantes de l'époque houillère indique peut-être un climat ultra-tropical, qui aurait parcouru successivement les différentes zones de latitude, et par conséquent les houilles appartiendraient à des époques distinctes. Plusieurs géologues sont déjà tentés de rapporter une partie des houilles de l'Amérique du nord à la formation de la grauwacke, plus ancienne que les véritables terrains houillers.

Ces deux groupes, quelquefois aussi le vieux grès rouge, ne sont peut-être que les termes divers d'une même série, qui, si elle a été interrompue sur plusieurs points, s'est successivement continuée dans d'autres, sans qu'aucune limite précise puisse indiquer la fin d'une période et marquer le commencement de l'autre.

S'il y a des houilles de l'âge de la grauwacke, il est probable qu'il en existe aussi qu'il faut rapporter au vieux grès rouge. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'à l'époque carbonifère, deux grandes actions se manifestaient sur diverses parties du globe; l'une, toute plutonique, déterminait l'apparition de ces grandes assises de calcaires carbonifères qui, quelquefois contemporains du combustible, le précédèrent presque partout; l'autre, dépendante des causes atmosphériques, amenait de la surface des terres émergées,

dans des lacs ou dans des estuaires, les débris du terrain et les végétaux qui les recouvraient.

Bien peu de terrains houillers semblent avoir été formés sous les eaux marines, quoique pourtant le calcaire carbonifère, évidemment marin, alterne quelquefois avec les couches de transport, qui constituent la houille et ses grès. Il y a cependant des houilles qui ont été déposées dans la mer, car il serait difficile de comprendre autrement l'étendue de leur bassin et surtout leur profondeur. Il paraîtrait que le vaste dépôt de l'Altaï occuperait la place d'un ancien golfe de la mer, et devrait être rangé dans cette classe; tout porte à supposer que ce terrain se rapporte à la vaste formation houillère de l'Asie centrale.[1]

Les alluvions qui ont donné naissance à certains terrains houillers, ont eu une telle puissance, que des couches de conglomérat, en Pensylvanie, atteignent plus de 1000 mètres au-dessus de la houille, et que les calcaires et les grès, qui sont au-dessous, ont au moins 6700 mètres, ce qui, avec la couche de houille, donnerait à cette gigantesque formation l'énorme épaisseur de plus de 8000 mètres.[2]

---

1 Rapport sur le mémoire de M. Tchiattcheff, relatif à la constitution géologique de l'Altaï. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XX, page 1403.

2 Logan, Sur le terrain houiller de la Pensylvanie. *Philos. Magaz.*, janvier 1843.

Il existait, sans doute, à cette époque des mers et des bassins tranquilles, comme de nos jours; mais ce qu'on ne peut révoquer en doute, en voyant la puissance et la constance des grès de ce terrain, en remarquant, surtout autour du plateau primitif de la France centrale, ces masses de poudingues ou de brèches à grandes parties, c'est que les eaux torrentielles avaient alors une grande force de transport, et malgré cela des intermittences dans leur volume, leur vitesse, et par suite dans leur puissance créatrice.

Le dépôt du millston-gritt, sur une vaste étendue, indique aussi de grandes actions érosives, qui ont précédé ou accompagné cette époque.

On ne peut guère toutefois expliquer la présence de grosses masses de transport sous les houilles, qu'en admettant près des lieux de dépôt quelques-unes de ces dislocations si fréquentes à cette époque.

Il est certain que pendant la période de dépôt du grès rouge de nombreux bouleversements avaient déjà eu lieu sur les terrains préexistants, et de grandes actions de transport se manifestaient sur la terre. La présence dans cette roche de très-gros fragments de porphyre, indique, peut-être, que c'est à l'apparition de ce dernier que sont dus ces dérangements, et il pourrait marquer, en même temps, une époque de ces pluies diluviennes qui, selon toute apparence, ont suivi chacune des grandes dislocations du sol.

Il s'en faut que les actions qui ont produit le grès

rouge aient eu partout la même puissance, ou aient rencontré toujours de gros blocs à charrier; car cette roche se présente dans plusieurs localités avec une texture très-fine, et se montre évidemment composée de particules aussi ténues que celles de certains échantillons de grauwacke.

La présence des houilles dans des lieux très-rapprochés des pôles, est un fait parfaitement acquis à la science, et qui témoigne de la haute température dont jouissaient alors ces contrées aujourd'hui glacées. C'est une de ces observations qui prouvent que les causes actuelles eussent été impuissantes pour donner naissance à ces curieuses formations.

Il est bien vrai que les plantes des houillères sont toutes d'espèces et même de genres différents de celles qui vivent aujourd'hui; mais si nous voulons retrouver des analogues vivants, nous sommes forcés de les chercher dans les îles des mers équatoriales, où elles végètent sous une temperature élevée, dans une atmosphère humide, et abritées, par de grandes espèces, de l'action directe des rayons solaires. Nous devons supposer des habitudes analogues aux plantes houillères qui ont vécu sous diverses latitudes, à une époque où il semble qu'une température presque uniforme régnait sur le globe, et où peut-être de grandes masses de vapeur d'eau, en partie condensées dans les hautes régions, enveloppaient la terre, et pouvaient soustraire la surface à l'action trop directe des rayons d'un soleil

brûlant. C'est sans doute sous ce dôme de vapeurs que ces plantes se sont développées, et comme déjà nous savons que les fougères de nos climats vivent à l'ombre, presque toujours sans soleil, souvent même presque sans lumière, dans le fond des puits ou des grottes à peine éclairées, nous pouvons facilement croire que des espèces appartenant aux mêmes familles ou à des ordres voisins, pouvaient autrefois résister aux longues nuits polaires; et savons-nous d'ailleurs si ces plantes houillères ne pouvaient pas acquérir en une année tout leur développement, ou du moins une croissance assez grande pour constituer des houilles par leur dépôt et leur décomposition? L'état de l'atmosphère humide, chargée d'acide carbonique, et une température élevée, sont autant de circonstances qui autorisent de telles suppositions.

A la vérité, on pourrait admettre aussi que les matériaux des houilles ont été transportés, et il est à peu près certain que les frondes des fougères n'ont pu s'appliquer avec autant de précision sur les argiles, qui plus tard se sont transformées en schistes, sans avoir préalablement été étendues sur l'eau; mais il est douteux que le transport se soit opéré sur une grande distance et que le chariage ait été prolongé.

A peu près à l'époque des houilles vivaient aussi, dans les mêmes localités, une immense quantité de coraux, dont les habitudes ressemblaient beaucoup à celles que nous offrent aujourd'hui ceux qui se développent dans les régions équatoriales.

La présence de ces madrépores indique positivement une température très-élevée, mais elle ne prouve rien relativement à la lumière. Nous n'avons aucune expérience qui nous indique si les polypiers vivraient dans les ténèbres, mais comme ils peuvent construire des récifs à une certaine profondeur, cela nous annonce qu'une lumière diffuse leur suffit, et doit nous faire supposer qu'ils pouvaient, dans les régions polaires et à une époque voisine de celle des houilles, rester quelques mois sans lumière et se développer malgré son absence.

Une certaine température semble plutôt une condition de vie pour eux qu'une clarté vive et continue.

Le terrain houiller, très-bien caractérisé, existe au Spitzberg; mais le combustible, suivant M. Robert, est plutôt une anthracite qu'une véritable houille. Il lui trouve les plus grands rapports avec celle qui a été découverte à l'extrémité méridionale de la terre de Van-Diemen, et indique ce curieux rapprochement non-seulement dans la matière charbonneuse même, mais encore dans les roches qui l'accompagnent.

Toutefois, ce savant géologue a remarqué que les houilles recueillies, pour ainsi dire, aux deux extrémités de la terre habitable, dans les deux hémisphères, ne contenaient aucun stipe de fougères et de cycadées, ces végétaux n'étant pas même révélés par la moindre trace de feuilles ou de frondes.

Les seules empreintes observées par M. Robert dans

la houille du Spitzberg, consistaient en calamites ou sigillaires, en lepidodendrum et quelques autres impressions gigantesques, qu'il rapporte à des fucus.

C'est en s'appuyant sur l'observation de ces faits, que M. Robert demande si la houille du Spitzberg est bien la même que celle des autres contrées.

« A cette époque, dit-il, où la cristallisation du « globe avait lieu, sa surface jouissait d'une haute « température, et le règne végétal devait se déployer « dans tout son luxe, aussi bien sous l'équateur que « sous les pôles; mais pendant cette période thermale « de la nature, si je puis m'exprimer ainsi, six mois « de nuit n'en étaient pas moins six mois d'anéantis- « sement pour tous les végétaux aériens, tandis que « les fucus, croissant dans un milieu différent, y « étaient presque insensibles. Les grandes monocoty- « lédonées, par exemple, telles que celles des maré- « cages, devaient alors pourrir sur place pendant ce « laps de temps, au milieu de l'obscurité et d'une « chaleur humide, pour se reproduire l'année sui- « vante; ne serait-ce point là, en y comprenant les « débris des plantes marines poussées par la mer sur « le rivage, les éléments de cette houille que nous « avons rencontrée au Spitzberg. Ce qui se passe ac- « tuellement dans cette localité, donne le plus grand « poids à cette hypothèse. »[1]

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XIII, p. 25.

M. de Meyendorf a annoncé à la société géologique que M. Baer avait découvert de la houille dans la Nouvelle-Zemble, et on sait que déjà un terrain houillcr, dont les plantes sont très-analogues à celles de nos bassins européens, a été observé au Groenland, et quelque extraordinaire qu'il soit de trouver à de pareilles latitudes des débris d'une végétation qui a les caractères des tropiques, c'est maintenant une vérité de fait qui prend place dans la science.[1]

L'étude plus approfondie des houillères situées dans le voisinage des pôles et surtout du pôle nord, jettera certainement par la suite un grand jour sur l'ancien état de notre planète, au moment de la naissance des climats; mais à peine connaissons-nous l'existence de quelques terrains houillers dans le nord, où l'abondance du bois laisse presque sans intérêt direct la recherche d'un combustible minéral. Il est prématuré selon nous, même pour la flore de la période houillère, d'établir l'identité des végétaux dans les divers dépôts de cette grande formation. On découvrira plus tard des différences marquées dans la composition et la structure des terrains carbonifères voisins des pôles et ceux qui s'approchent davantage des tropiques.

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. IX, p. 240.

CHAPITRE IV.

DES TERRAINS DE SÉDIMENTS MOYENS ET SUPÉRIEURS.

Par le fait de la température élevée dont jouissait la terre pendant les périodes précédentes, les terrains de sédiment devaient se déposer sur des espaces très-étendus et avec des caractères presque uniformes; c'est en effet ce que nous avons remarqué. Mais alors la production de vapeur devait être activée par l'action d'un soleil plus chaud qu'aux temps actuels, et il n'y aurait rien d'étonnant que l'influence solaire eût été déjà ressentie vers les pôles, où pendant six mois et alternativement de grandes différences de chaleur et de lumière devaient influencer les créations et les dépôts.

Si cette grande cause astronomique n'a pas contribué à modifier les dépôts siluriens, elle a pu agir sur le groupe carbonifère, sur le grès rouge ou au moins sur les divers étages du trias, que nous laissons dans le chapitre précédent, avec tous ces anciens terrains que nous considérons provisoirement comme formés sous l'influence de la chaleur centrale. Nous sommes cependant bien persuadé que des études ultérieures, faites à des latitudes diverses et dans d'autres contrées

que l'Europe, conduiront à démontrer que les climats solaires existaient, mais sans être complétement indépendants, au moins à l'époque du trias et peut-être beaucoup plus tôt.

Dans notre hypothèse du refroidissement de tous les astres, notre globe et le soleil, en rayonnant tous deux dans l'espace, ont perdu une partie de leur chaleur; mais la terre, excessivement petite, a marché relativement avec une extrême rapidité vers l'état actuel. Le climat ultra-tropical, produit par le soleil, était donc insignifiant d'abord sur une sphère elle-même incandescente, mais aussitôt que l'eau put tomber sur la terre et la raviner, les climats solaires durent se faire sentir. Toutefois, malgré la chaleur qui rayonnait alors de cet astre, son addition à la chaleur propre du globe, pouvait ne pas avoir une très-grande importance; mais comme les deux astres se refroidissaient très-inégalement, la différence, en faveur de la chaleur émanée du soleil, s'accrut progressivement dès l'époque la plus ancienne jusqu'à nos jours où depuis très-longtemps, elle est la seule qui se fasse sentir.

C'est donc d'une manière toute conventionnelle que nous plaçons les dépôts du trias dans l'époque précédente, et que nous commençons au groupe oolitique la série de ceux qui se sont formés sous des conditions climatériques presque indépendantes de la chaleur centrale.

Pour pouvoir apprécier ces influences locales, qui d'après notre manière de voir ont dû s'étendre en suivant à peu près les parallèles terrestres, il faudrait pouvoir étudier la géologie sous un point de vue particulier, pour en tirer des conséquences générales que nous ne pouvons pas encore recueillir; il faudrait déterminer exactement l'unité ou l'espèce géologique qui ne peut pas être nettement tranchée, même en Europe, et qui est presque inconnue dans les autres parties du monde; il faudrait, enfin, connaître sur toute la terre la géographie géologique.

La carte du globe par M. Boué est l'esquisse d'un travail de ce genre; mais, comme le dit lui-même son savant auteur, ce sont seulement quelques grands traits de l'histoire de notre planète dont les géologues futurs dessineront les détails; une même nuance a souvent nivelé des étages distincts, différents à la fois par leur nature et l'époque de leur formation.

Telle qu'elle est, cette carte nous démontre les résultats suivants :

1.° Les formations les plus anciennes sont surtout reléguées vers les pôles, dans l'ossature principale, près de l'équateur et au pourtour du grand Océan.

2.° Les terrains intermédiaires existent surtout autour des pôles et dans la zone tempérée de l'hémisphère boréal; ils manquent presque sous l'équateur.

3.° Les formations secondaires remplissent les con-

cavités des terrains intermédiaires dans l'hémisphère boréal, tandis qu'elles gisent sur le sol primitif à l'équateur.

4.° Les terrains tertiaires dominent près de l'équateur. Ils remplissent les points les plus bas des bassins des mers, et forment une zone passant du désert de Cobi par les pays à l'entour de la mer Caspienne, jusque dans la plaine basse du nord de l'Europe; tandis qu'une autre zone semblable part de la partie septentrionale du bassin de l'Euphrate, passe par une partie de l'Arabie et se prolonge jusqu'à l'Indus, et de là au pied de l'Hymalaya vers le Gange.[1] Ainsi les terrains sédimentaires, excepté ceux qui sont relativement modernes, manquent presque totalement sous l'équateur; on ne voit pas sur les terres émergées de cette vaste zone, ces grands dépôts siluriens si développés dans la zone boréale et tempérée de l'hémisphère nord; mais nous ne savons pas si des terrains analogues ne se déposent pas aujourd'hui dans les mers équatoriales, enveloppant des fossiles abondants, comme ceux qui autrefois ont parsemé la masse des terrains siluriens, et qui appartiennent aussi à un climat tropical.

Il sera toujours difficile de savoir si deux dépôts distincts d'une même formation, situés sous des lati-

1 Bulletin de la Société géologique de France. Nouvelle série, tome I, page 512.



tudes très-différentes, sont réellement contemporains, ou ne sont pas le résultat de causes semblables qui auraient agi à des époques très-éloignées l'une de l'autre.

Si ces circonstances ont existé, comme nous le pensons, elles sont certainement plus marquées sur les terrains que nous allons passer en revue, que sur ceux qui ont fait le sujet des chapitres précédents.

Il paraît à peu près certain qu'à cette époque géologique (celle de l'oolite), les climats solaires existaient déjà parfaitement caractérisés; car le changement dans la chaleur centrale a bien pu avoir une influence sur l'uniformité de distribution des êtres sur la terre, et surtout des espèces marines; mais ce sont les climats qui ont déterminé les créations ou les modifications successives qui ont apparu sur les continents.

Les plantes des houillères, qui indiquent un climat tropical ou ultra-tropical, ne se montrent presque plus dans les terrains secondaires. Les fougères ont diminué, et le fond de la végétation paraît formé de cycadées et de conifères, plantes qui existent encore en abondance sur la terre, mais cependant (et les premières surtout) en nombre moins considérable qu'autrefois. Il y avait donc abaissement de température, et les mers européennes devaient être interrompues par de grandes îles sur lesquelles les phénomènes d'érosion s'accomplissaient sur une grande échelle; car l'abondance des grands sauriens, et sur-

tout l'enfouissement de ces millions de bélemnites et d'ammonites, ne peuvent guère s'expliquer qu'en admettant de vastes fleuves qui, dans certaines saisons, versaient, comme le font actuellement les grands cours d'eau de l'Asie et de l'Amérique, des torrents de boue et de débris qui couvraient presque instantanément de grandes étendues.

Des émissions calcaires ont eu lieu pendant toute la durée du dépôt du groupe jurassique; aussi la plupart des marnes et des sables de ce terrain en sont imprégnés; mais ces dépôts chimiques, quoique occupant de très-grands espaces, sont cependant plus localisés que les sables sédimentaires du même groupe, en sorte que l'on peut conclure de ces observations que les causes de transport étaient actives et générales. On doit les attribuer aux pluies abondantes et aux courants qui en étaient la conséquence.

Déjà une partie des dépôts sédimentaires précédents, la grauwacke, les grès houillers, les grès rouges, les diverses assises du grès bigarré, étaient déposés, et une portion de ces terrains, sans doute émergés, contribuaient, avec les granites et les micaschistes, à fournir les matériaux des marnes, des sables et des vases du groupe oolitique.

Pendant que les immenses assises de ce dernier groupe se déposaient sur une si grande partie de l'Europe, quels étaient les terrains qui se formaient sur les autres points du globe et dans l'hémisphère

opposé au nôtre? leurs continents étaient-ils exondés? et ces actions, que nous considérons comme dépendantes du climat et déjà dégagées de la quantité de chaleur interne que la terre pouvait fournir, se continuaient-elles selon la latitude modifiée par des circonstances locales? Il est impossible de résoudre ces questions, puisque la géologie de l'Europe est la seule connue, et même d'une manière incomplète.

Les dépôts commençaient toutefois à se localiser, en conservant cependant une allure générale et des traits d'ensemble très-caractéristiques, mais les localités ont eu évidemment de l'influence, et les terrains jurassiques sont extrêmement variés.

Si nous admettons l'action du climat solaire comme cause unique de la chaleur à l'époque oolitique, à plus forte raison devons-nous considérer le vaste groupe de la craie, comme ayant été déposé sous les mêmes conditions.

A cette époque le soleil, possédant encore une grande chaleur, donnait lieu pendant l'été à une évaporation très-active, qui devait nécessairement produire des masses d'eau sur les points de la terre les plus refroidis.

Tant que les sédiments étaient submergés, on conçoit que l'action des pluies était nulle; mais aussitôt l'émersion commencée, l'érosion attaquait tous ces terrains encore mous, et peut-être aussi brisés ou disloqués par le soulèvement qui les amenait au-dessus des eaux.

L'émission plutonique d'une grande quantité de calcaire à l'époque crétacée ne paraît plus douteuse, et c'est peut-être à cette circonstance qu'il faut rapporter le développement excessif de ces animaux microscopiques dont les coquilles infiniment petites forment maintenant la majeure partie de ce terrain. La silice, qui sortait en même temps de l'intérieur, s'est séparée en rognons dans la craie blanche, et ce grand dépôt chimique forme une large bande en Europe, en Asie et même en Amérique; mais, malgré son étendue, ce peut être encore un dépôt local, résultant de quelque grande fracture qui aura déterminé la sortie des sources calcarifères.

Il est certain qu'à cette époque, ou du moins à celle qui a précédé immédiatement l'apparition de la craie blanche, les actions de transport n'avaient rien perdu de leur intensité dans la majeure partie de l'Europe; car un immense dépôt de sable et de vase s'est opéré sous la craie, et y constitue à peu près partout de puissantes assises.

C'est le terrain de grès vert qui, comme la surface de la craie blanche, a été raviné dans presque toutes les localités où on les rencontre. Un grand nombre de lieux ont même perdu presque entièrement les assises qui s'y étaient déposées autrefois. Telle est, par exemple, le dépôt de grès vert de la Savoie, sur lequel le savant abbé Chamousset a appelé l'attention de la société géologique.

« Ne serions-nous pas en droit d'en conclure, dit-il, « que le grès vert du pont d'Entrèves n'est qu'un reste « d'une grande formation qui se rattachait à celle de « Bellegarde, et que les grès verts ont presque partout « été détruits, et ont fourni la plupart des matériaux « des roches plus récentes, suivant l'opinion qu'en a « émise M. Favre, dans la course du Mont-du-Chat? [1] »

Il n'y a rien d'extraordinaire qu'à cette époque géologique des pluies torrentielles soient venues dénuder, morceler et peut-être emporter entièrement des couches de grès vert. La même dénudation a eu lieu sur la craie, et elle a été d'autant plus forte à ces différentes époques, que les terrains étaient plus tendres et plus faciles à entraîner.

Que l'on se figure seulement un terrain marécageux ou calcaire, ou un grès incohérent, comme serait le sol qu'un soulèvement ferait sortir tout à coup du fond de la mer ou d'un grand lac, et l'on comprendra quelles énormes dégradations y produiraient des pluies abondantes, comme nos averses et nos orages, surtout si le terrain était en pente. Or, si l'on fait attention au grand volume d'eau que les pluies amenaient alors sur la terre, on se rendra facilement raison de ces immenses ravinements que les continents offrent de tous côtés.

---

1 Chamousset, Compte rendu de la réunion géologique de Chambéry. Bulletin, nouvelle série, tome I, page 817.

En effet, tout ce que nous voyons autour de nous est destruction. Une fois l'eau vaporisée, elle détruit et lave en tombant, elle entraîne et balaye les débris en coulant sur le sol, tandis que des terrains de plus en plus modernes se déposent encore de nos jours, si ce n'est dans le fond des mers et des grands lacs, au moins sur leurs bords, terrains qui peut-être un jour livreront à l'action des mêmes agents destructeurs les matériaux dont ils sont formés; mais l'intensité de la chaleur, et par suite celle des causes atmosphériques, allant toujours en diminuant, les temps géologiques deviendront plus longs et les actions plus lentes.

La vaste formation de la craie reste constamment à une certaine distance géographique du pôle, où sans doute les conditions de climat ne lui permettaient pas de se déposer. Car alors des neiges hivernales, qui fondaient totalement au retour du soleil, devaient déjà descendre aux extrémités de notre planète, et comme nous ne connaissons pas la configuration que pouvait avoir l'Europe à cette époque, nous ne savons pas si de grands courants polaires ne venaient pas raviner en partie les terres alors émergées.

Terrains tertiaires.

A mesure que les terrains plus récents se formaient par des dépôts sédimentaires ou des précipitations chimiques, le sol exondé de l'Europe, aidé sans doute

de nombreux soulèvements qui durent encore, augmentait d'étendue et donnait ainsi plus de prise aux eaux torrentielles qui continuaient à tomber du ciel en abondance.

Les terrains tertiaires font évidemment le passage de l'époque crétacée aux temps actuels, et si sur certains points on trouve une séparation très-nette entre ces deux ordres de dépôt, on ne peut l'observer en d'autres localités. Il en est de même de tous les terrains plus anciens, qui peuvent passer insensiblement des uns aux autres quand des circonstances particulières, mais toujours locales, comme des soulèvements, des dislocations, ne sont pas venues interrompre la succession de leurs assises. On conçoit très-bien qu'un pays qui venait de recevoir la sédimentation de la craie blanche, et qui s'est trouvé soulevé au-dessus de l'eau, a dû être raviné, souvent même détruit par les pluies ou par les courants, avant de recevoir de nouveaux dépôts plus récents.

Dès cette époque les glaces polaires avaient pris de l'extension; la chaleur intérieure était nulle à la surface, et nécessairement la neige s'accumulait en abondance aux deux pôles, qui, alternativement, passaient par la température hivernale actuelle et celle d'un été beaucoup plus chaud que les nôtres. La fonte des neiges et l'extension des glaciers polaires était une conséquence de cette variation de température; des glaces flottantes charriaient au loin sur les mers les

débris des Alpes scandinaves et déjà les sommets des hautes montagnes des zones tempérées se couvraient d'eau congelée, dont les masses, quoique considérables, ne résistaient pas aux pluies printanières et à l'action calorifique des rayons solaires.

C'est pendant cette époque qu'une partie des blocs erratiques du nord furent transportés, et si nous nous occupons plus loin de ce curieux problème, c'est pour ne pas séparer des phénomènes à peu près semblables, malgré l'intervalle qui a dû les éloigner.

La position si remarquable d'une série de terrains tertiaires, échelonnés pour ainsi dire le long des principaux fleuves et de leurs affluents, nous indique assez que c'était l'âge des lacs étendus, époque à laquelle les eaux douces ont joué certainement le plus grand rôle sur la terre. Alors une partie des soulèvements avait eu lieu; de vastes étendues de terrain étaient émergées, et la chaleur solaire, agissant avec une certaine intensité, produisait des masses de vapeur, qui, par leur condensation, formèrent des lacs et d'immenses rivières, comme le fleuve Saint-Laurent nous en offre encore une preuve aujourd'hui.

Cet immense cours d'eau, que nous citons pour exemple, n'est lui-même que le reste encore gigantesque d'un de ces grands bassins qui ont couvert plusieurs portions du globe.

D'après M. Royle, les grands lacs actuels de l'Amérique du nord ne seraient autre chose que le fond

d'une vaste mer intérieure, dont la surface était plus étendue que celle de la Méditerranée, et qui s'est écoulée peu à peu par le fleuve Saint-Laurent. Son niveau était de plus de 400 pieds au-dessus de celui du lac Ontario.[1]

M. Roy a reconnu sur plusieurs points de l'Amérique septentrionale des terrasses horizontales qu'il croit indiquer les bords de cette ancienne nappe d'eau, dont les grands lacs actuels ne seraient plus que les témoins, pour ainsi dire. La plus élevée de ces terrasses est à 996 pieds (332 mètres) au-dessus du niveau de la mer. M. Roy en conclut que les limites de l'ancienne Méditerranée américaine devraient être, à l'ouest, la chaîne qui s'étend depuis le plateau du Mexique jusqu'au 47.e degré de latitude; au nord, les hauteurs qui séparent aujourd'hui les eaux qui se versent dans les lacs de celles qui coulent vers la mer polaire; à l'est, les collines qui traversent les États-Unis et se terminent au golfe du Mexique; au sud, une chaîne qui aurait été détruite plus tard. La surface de cette ancienne nappe d'eau aurait eu ainsi 960 000 milles carrés.[2]

---

1 Extrait d'une lettre de M. Pratt. — Bulletin de la Société géologique de France; tome VIII, page 203.

2 Roy, Procès-verbaux de la Société géologique de Londres, séance du 5 avril 1837. — Bulletin de la Société géologique de France; tome IX, page 95.

Les énormes dépôts lacustres, ayant 70 milles en largeur, qui séparent le lac Huron du lac Érié, peuvent servir de preuve à la grande diminution qu'a subie la quantité d'eau douce autrefois contenue dans les lacs et les fleuves de ce continent. Il en résulte que les cataractes de ces rivières ont dû être infiniment plus considérables qu'elles ne le sont de nos jours, et par conséquent l'excavation des lits des rochers, dans lesquels elles coulent, par les chutes d'eau, a dû marcher infiniment plus vite qu'à présent.

« La chute de l'eau blanche, dans le pays des Ché-« rokés, a creusé son lit dans du gneiss. La localité « porte des indices qui font penser que la rivière a « été une fois décuple de ce qu'elle est maintenant. »[1]

Mais nous n'avons pas besoin d'aller chercher nos exemples dans des contrées si éloignées. Il nous suffit de jeter un coup d'œil sur la belle carte géologique de France, que nous devons aux savantes et laborieuses recherches de MM. Dufresnoy et Élie de Beaumont, pour reconnaître à la surface d'une contrée aussi petite que notre patrie, l'emplacement des lacs nombreux qui existaient à l'époque tertiaire; lacs qui, pour la plupart, se présentent encore avec leurs anciens con-

---

1 Sur l'érosion du lit des rivières de l'Amérique par l'action des cataractes, par M. Featherstonhaugh. Lu à l'Association brit. des sciences à York; *Athenæum* et Bibl. univers., nouvelle série, 9.e année, octobre 1844, page 392.

tours géologiques, et un faible courant qui les traverse, comme pour indiquer la puissance des affluents qui venaient les alimenter. Et quelle serait donc la cause qui aurait pu remplir de si vastes bassins, situés souvent à de grandes hauteurs, si ce n'étaient ces pluies périodiques et abondantes, qui ne débarassaient l'atmosphère de ses vapeurs accumulées que pour permettre aux rayons solaires d'en élever de nouvelles, qui devaient bientôt se précipiter encore.

Le climat tropical, dans son parcours du pôle à l'équateur, était alors fixé sur les zones tempérées, et commençait à abandonner les régions plus voisines des extrémités de la terre, auxquelles il venait cependant rappeler périodiquement sa puissance. La fonte alternative des neiges et l'extension des glaciers du nord marquaient la fin des terrains tertiaires et le commencement de la période alluvienne que nous allons aborder.

CHAPITRE V.

DES DÉPÔTS POSTÉRIEURS AUX TERRAINS TERTIAIRES.

Nous avons essayé, dans les chapitres précédents, de déterminer les actions séparées de la chaleur solaire et du feu central, et nous croyons pouvoir conclure de ces recherches que, dès l'époque du trias, les climats solaires existaient très-marqués sur la terre, mais que plus tard seulement la température propre de notre globe a cessé de se manifester au dehors.

Le feu central masqua d'abord l'influence du soleil, puis les rôles furent changés : la chaleur solaire dominait celle de la terre, qu'une croûte refroidie, devenant toujours plus épaisse, emprisonnait dans l'intérieur.

Nous ne pouvons prétendre à déterminer les époques précises où les causes atmosphériques, prenant chaque siècle plus d'importance, devenaient prédominantes malgré leur affaiblissement réel; mais nous pouvons regarder comme certain que la longue période, dont nous allons nous occuper, a toujours été indépendante de la chaleur centrale.

L'époque alluviale comprend tous les terrains de transport qui se sont formés depuis le sol tertiaire jusqu'à ceux que nous voyons créer sous nos yeux.

Aucune limite tranchée ne sépare ces dépôts de ceux qui leur sont antérieurs; tous les sédiments, depuis les plus anciens, n'ont été interrompus que par des causes locales et perturbatrices, et sur les points éloignés de ces causes, la séparation est moins nette, quelquefois nulle; plus on approche des temps actuels, moins il y a de limites visibles entre les formations lorsqu'elles se superposent.

Une fois arrivés aux terrains d'alluvion, la séparation est moins sensible encore entre leurs différents étages. Il est très-vrai qu'il existe un terrain de transport très-ancien, qui a succédé immédiatement au terrain tertiaire, et qui est surtout caractérisé par des espèces d'animaux qui n'existent plus aujourd'hui; mais aucune transition brusque ne sépare les dernières alluvions des plus anciennes, et, dans un grand nombre de lieux, les cours d'eau déposent les cailloux et les sables qu'ils entraînent dans les mêmes localités où, à l'ancienne époque de transport, ils avaient aussi abandonné des débris, auxquels ils ajoutent et mélangent les nouveaux.

Si l'on ne peut saisir le point qui sépare la fin des terrains tertiaires du commencement des terrains d'alluvion, cette dernière époque n'en est pas moins bien caractérisée et bien distincte de toutes les autres dans son ensemble.

De grands lacs existent, mais ils deviennent toujours moins nombreux et perdent successivement en

étendue; quelques dépôts tranquilles s'y opèrent encore, mais le plus souvent ce sont des cailloux roulés qui y pénètrent tumultueusement et finissent par les combler. La sédimentation cesse presque entièrement pour faire place à des transports quelquefois très-étendus, plus souvent locaux et restreints; les terrains d'alluvion sont des sédiments incomplets, auxquels il a manqué la dernière des trois conditions que nous avons reconnues nécessaires à la sédimentation nivelée. Cette dernière, qui ne peut avoir lieu régulièrement que dans les eaux tranquilles, manque au sol que nous allons étudier. Elle peut, elle doit, même de nos jours encore, s'opérer dans les lacs, les méditerranées et l'océan; elle peut, comme nous le savons, créer encore des deltas et de vastes couches; mais une partie des matériaux entraînés reste en chemin, et ce sont généralement les plus gros; ce sont ceux qui forment tous ces terrains d'alluvion si répandus sur la terre, qui attestent de la destruction continuelle des continents et surtout des montagnes, et qui sont d'autant plus intéressants à étudier qu'ils arrivent insensiblement jusqu'aux temps historiques, et que les causes actuelles nous dévoilent pour ainsi dire tous les mystères de leur création.

La plupart des sédiments chimiques ont cessé à l'époque alluviale, ou bien, les sources qui amenaient les matières calcarifères, gypseuses ou ferrugineuses, laissant échapper leurs eaux sur des terres émergées

et non dans des lacs et des bassins étendus, ont cimenté çà et là des couches minces de cailloux roulés, ont formé quelques monticules isolés de dépôts chimiques, de silice, de carbonate de chaux, d'oxide de fer, puis ont cessé de se montrer, ou bien, ont conservé seulement des indices de leur ancienne puissance, comme pour nous inviter à étudier les causes actuelles et nous montrer leur grand affaiblissement.

Tous les terrains antérieurs, tous les grès ont été formés aussi par des débris; mais on remarque dans la création de ces terrains des actions bien plus générales que dans les alluvions actuelles. Les débris ont été entraînés par des causes qui avaient plus de durée et moins de violence que celles qui ont charrié et qui charrient encore ces dépôts modernes, leurs grains sont plus fins, plus égaux, mieux cimentés et plus unis; tandis que dès les terrains tertiaires nous voyons les sédiments résulter de l'accumulation de plus grosses parties, se réunir dans les bassins plus rétrécis, puis, enfin, occuper seulement des vallées dans lesquelles on peut facilement retrouver, à des distances variables, tous les points où les matériaux des terrains ont été arrachés. De nos jours même on voit faire ce travail d'une manière si claire que nous ne pouvons révoquer en doute, quelle que soit l'ancienneté du dépôt, que la nature ait employé des moyens identiques ou analogues à ceux dont elle se sert encore.

Le terrain d'alluvion est donc un composé de débris nombreux arrachés au sol préexistant, et déposés à une distance plus ou moins grande de leur point de départ. L'un de ses principaux caractères est le volume de ces débris, qui, généralement plus gros que ceux des terrains antérieurs, va en augmentant depuis le commencement de l'époque alluviale jusque vers son milieu, et pour ainsi dire jusqu'aux temps actuels.

En examinant les caractères physiques de ces débris, on est surpris de voir que les uns sont usés et roulés, tandis que plusieurs ont conservé leurs angles, et semblent avoir été préservés des causes qui ont arrondi les autres, comme si les premiers étaient descendus eux-mêmes de leur station originaire aux points où ils gisent, tandis que les autres y auraient été mollement transportés. Les plus gros blocs, les plus lourds sont souvent dans ce dernier cas.

Quel que soit le mode de transport que l'on adopte, on ne peut disconvenir que l'eau, qui évidemment a servi de véhicule, a pu agir sous deux états distincts, liquide et solide.

Les couches les plus anciennes des terrains de transport ont été déposées par l'eau, d'autres, très-modernes, sont formées aujourd'hui même par la glace, et si les effets sont à peu près les mêmes, les causes, comme on le voit, sont très-différentes.

D'après cet exposé nous conserverons le nom général de *terrain de transport* à l'ensemble du sol, créé dans

cette longue période qui sépare les terrains tertiaires des temps actuels, et nous désignerons avec M. de Charpentier, sous la dénomination de *terrain erratique*, les détritus entraînés par les glaciers, et sous celle de *terrains diluvien* ou *alluvien*, les débris déposés par les eaux.

Tout paraît net et précis dans ces déterminations; mais il n'en est plus de même quand on arrive sur le terrain à l'application de ces principes; il devient très-difficile, souvent même impossible, de rapporter un dépôt à l'une ou à l'autre de ces deux actions.

Il existe entre les deux termes de la grande période des terrains de transport, une époque intermédiaire où les dépôts semblent participer à la fois des deux modes de translation. Les géologues, divisés en deux camps, soutiennent avec une grande habileté des opinions contraires; et en présence des faits qui ne peuvent varier, en présence d'interprêtes aussi savants, l'on peut dire aussi consciencieux, la vérité se cache encore, tant il est difficile de la découvrir.

Il est vrai que les pierres d'achoppement sont nombreuses; ce sont ces énormes blocs qui ont été transportés par des causes quelconques sur des points parfois très-éloignés de leur origine; qui couvrent les pentes du Jura, des Alpes, les plaines de la Suisse, de la Suède et de la Russie, et qui, détachés même des Alpes scandinaves, se sont répandus sur les rivages de l'Écosse et de l'Angleterre, malgré les distances,

malgré l'interposition des mers qui devaient leur faire obstacle. Ces mêmes blocs se retrouvent, à quelques différences près, en Asie, en Amérique, et ils forment une sorte de zone largement étendue autour du pôle nord.

Sans doute ils existent aussi dans les portions les plus méridionales de l'hémisphère sud, mais l'absence des grandes terres polaires peut avoir empêché le développement de cette puissante dispersion. Enfin, on retrouve encore des blocs anguleux dispersés ou rayonnant autour des groupes de montagnes dans lesquels il n'existe pas de glaciers pour les transporter.

Cependant en étudiant avec attention les terrains de transport, on ne peut nier qu'à une certaine époque de leur longue période ils aient acquis des caractères différents. On y voit clairement introduire une action autre que le transport par de simples courants, et la glace est le seul corps qui ait pu produire les effets particuliers que l'on a signalés; mais dans quelles circonstances la glace a-t-elle agi? est-ce en s'étendant plus ou moins loin sous forme de glaciers? est-ce en fondant par le concours de circonstances actuelles ou extraordinaires? est-ce en charriant les détritus et les gros blocs, en barrant des vallées ou en créant des lacs? est-ce en combinant son action à la puissance diluvienne? Ces questions curieuses divisent les géologues; les uns, que nous appelons

glacialistes, veulent qu'une énorme croûte de glace ait couvert toute la terre, ou au moins les quatre zones polaires et tempérées.

Les autres, que nous nommerons *glaciéristes*, admettent l'ancienne *extension limitée* des glaciers actuels; ces derniers ne sont pas d'accord pour cela, car il en est qui croient à un grand développement, tandis que plusieurs d'entre eux ne considèrent même cette extension que comme des oscillations possibles dans les temps historiques.

Nous devons dire toutefois que la plupart des géologues regardent comme ayant beaucoup de vraisemblance *l'extension limitée*, *mais pourtant assez large*, des glaciers polaires et alpins à une époque peu reculée. Tous ceux qui veulent cette extension limitée ou illimitée, l'expliquent par un abaissement de température, explication qui paraît en effet naturelle au premier abord; mais quand il faut ensuite trouver la cause du froid, au milieu de toutes les preuves contraires que présente la surface du globe et même l'époque *dite glaciale*, chacun diverge d'opinion et c'est là que l'embarras commence.

Des recherches sur les alluvions en général nous avaient conduit depuis longtemps à un examen très-attentif des causes qui avaient pu les produire, et nous avions reconnu dans les glaciers une force de transport et une alternative de fusion et de reconstruction, qui nous avaient immédiatement éloigné

de l'hypothèse des *glacialistes*, tout en nous forçant à reconnaître une ancienne *extension limitée*.

C'est cette théorie dont nous voulons chercher à apprécier l'exactitude, en la rattachant aux principes admis en géologie et surtout au refroidissement très-lent de la terre. Loin d'admettre un abaissement de température pour expliquer l'extension des glaciers, nous pensons que leur développement n'est possible qu'avec une chaleur plus grande que celle qui existe maintenant. Comme des preuves assez nombreuses attestent l'existence d'anciens climats bien caractérisés avant l'époque tertiaire, il en ressort que c'est au refroidissement du soleil, et non à celui de notre globe qui n'était plus sensible à la surface, qu'il faut attribuer tous les changements survenus dans l'intensité des causes atmosphériques, pendant la longue période dont nous allons nous occuper.

Au point où sont arrivées les choses, l'étude des faits, les discussions et les théories, la question des glaciers domine toute l'époque de transport, et c'est par leur étude que nous allons commencer, pour revenir ensuite à la translation des blocs et aux transports diluviens; mais pour des terrains si rapprochés de notre époque, l'examen des causes actuelles se place en première ligne et peut nous fournir des indications extrêmement utiles, pour reculer ensuite avec un peu moins de timidité dans l'ordre des événements antérieurs.

CHAPITRE VI.

DES GLACIERS.

Nous voici arrivés aux glaciers, question qui, comme le dit très-spirituellement M. A. Boué, *donne tant à courir et à imprimer.*[1]

On conçoit en effet tout l'intérêt qu'inspire cette étude, car il est bien peu de phénomènes qui par eux-mêmes, abstraction faite des curieuses conséquences que l'on peut en déduire, présentent autant d'attraits au naturaliste.

C'est un spectacle magique que celui de ces hautes régions, quand on jette les yeux pour la première fois sur ces mers de glace tant de fois décrites et dont les descriptions ne peuvent jamais peindre les beautés. Rien ne peut représenter toutes ces formes bizarres, où l'imagination voit des palais, des châteaux, des ruines et des obélisques, et se croit souvent transportée loin du globe que nous étudions; où l'artiste vient chercher ces effets de lumières inconnus aux habitants des plaines, ces teintes pures et éclatantes que reflèchissent mille fragments aux contours bizarres

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XIV, p. 235.

et fantastiques; où le poëte enfin rencontre ces émotions puissantes que le vulgaire ne comprend pas, tandis que le philosophe vient méditer, au bruit des avalanches, sur l'avenir lointain de notre planète.

Des hautes montagnes descendent ces fleuves congelés qui partent des *champs de neige* ou *nevés*, et qui descendent lentement dans les vallées, suivant leurs pentes comme le ferait une rivière, charriant les débris détachés des hautes aiguilles qui les dominent, et venant souvent terminer leur cours au milieu de riantes prairies ou de riches moissons.

A ce côté pittoresque de la question des glaciers vient se joindre le puissant intérêt qu'ils inspirent, quand on voit ces grandes masses animées de divers mouvements, quand on étudie la manière dont ils sont alimentés, leur accroissement d'un côté, leur fusion de l'autre, et surtout quand on réfléchit aux anciennes conditions auxquelles ils étaient soumis, et aux modifications sans nombre, que devaient leur faire éprouver des différences de température bien plus grandes que celles auxquelles ils sont assujettis aujourd'hui, et la masse d'eau, plus considérable, qui s'accumulait en hiver sur les pôles et les hautes montagnes.

C'est seulement sous ce point de vue des climats et d'une ancienne extension, que nous étudierons les glaciers, le terrain erratique et le sol alluvien.

Formation des glaciers.

Quand la neige tombe en gros flocons, elle occupe un espace dix à onze fois plus considérable que l'eau qui résulte de sa liquéfaction. Si elle arrive en paillettes fines, elle tient moitié moins de place. C'est dans cet état qu'elle descend le plus ordinairement dans tous les lieux élevés, sur toutes les hautes chaînes de montagnes, où elle se tasse peu à peu et acquiert alors une densité trois fois moindre que l'eau ordinaire, à cause des vides nombreux qui existent encore entre tous ses cristaux. De vastes amas d'eau glacée de cette nature prennent le nom de *champs de neige* ou *nevés*, et occupent temporairement des espaces immenses dans les climats du nord et de la partie sud de l'autre hémisphère, et perpétuellement sur les hautes montagnes et près des pôles.

Selon M. de Charpentier, il ne neige presque jamais en flocons sur les cimes élevées, en raison de la sécheresse de l'air; mais les vapeurs s'y condensent en grains arrondis transparents, semblables à ce qu'on appelle grésil. C'est ce grésil qui constitue le *haut nevé* des Alpes, qui se transforme en glaciers dans sa partie inférieure. Les neiges des régions équatoriales sont toutes des nevés, et leur cohérence est si faible, qu'elles ressemblent à un amas de cendres que le vent soulève en tourbillons.[1]

1 Bibl. univers. de Genève; février 1842, page 391.

Nous croyons cependant que les nevés peuvent être formés tout aussi bien par des flocons que par des grains; nous en avons vu, à de faibles hauteurs il est vrai, pendant le long hiver de 1844 à 1845, qui s'étaient déposés sur les montagnes d'Auvergne, présentant au plus haut degré la structure granuleuse des hauts nevés des Alpes, et qui cependant provenaient de beaux groupes d'étoiles de neige ou de cristaux très-distincts et parfaitement plats. La grande sécheresse qu'indique De Saussure dans les lieux élevés, n'est pas un fait bien reconnu; il est possible que ce grand observateur ait été un peu trompé par le beau temps qu'il choisissait nécessairement pour ses ascensions.

Contrairement aux résultats du célèbre Genevois, MM. Bravais et Martins ont trouvé, par des observations suivies, faites au sommet du Faulhorn, à 2683 mètres d'élévation absolue, que l'humidité était plus grande à cette altitude que dans la plaine.

C'est du nevé que sort le glacier proprement dit, et l'on sait, surtout depuis les belles recherches de M. Agassiz, que le nevé se transforme lui-même en glace, d'abord peu cohérente, presque poreuse, séparée par une multitude de petits interstices, et devient de plus en plus compacte, à mesure que le glacier descend dans la vallée qui lui sert de lit.

Une fois le glacier dégagé du nevé, sa surface se présente sous des aspects très-différents; quelquefois

lisse ou ondulée, offrant à peine quelques grandes sinuosités; ailleurs brisée, morcelée, hérissée, et séparée par de larges crevasses, dans lesquelles on admire cette teinte d'un bleu céleste qu'offre une mer pure et profonde, que montre le ciel dans ces hautes régions, et que les glaciers eux-mêmes offrent de loin au voyageur.

L'épaisseur de ces glaciers est très-variable, mais très-considérable dans certaines parties; elle dépend de leur étendue et de la pente de la vallée dans laquelle ils se sont épanchés. On en connaît qui dépassent 20 à 24 kilomètres de longueur.

Rarement leur surface est glissante comme celle de la glace ordinaire; elle est plus souvent rude et grenue.

Les glaciers n'atteignent jamais les plus hautes sommités des montagnes; celles-ci, presque toujours nues et décharnées, ont des pentes trop rapides pour que la neige puisse y séjourner. On y aperçoit bien de temps en temps des neiges éphémères, mais elles roulent en avalanches et se dispersent en poussière au gré des vents. Les hauts plateaux eux-mêmes reçoivent la neige sans se couvrir de glace, car la température est trop basse pour qu'elle puisse éprouver un commencement de fusion, et dès lors elle reste sous forme de poussière ou de neige tassée. Cette observation a été faite par toutes les personnes qui ont atteint des sommités très-élevées. Ramond la fit au sommet du Mont-Perdu.

Le pic est couvert de neige, depuis le grand glacier jusqu'à sa cime; mais sur le haut, l'épaisseur des neiges est peu considérable, parce que la forme tranchante du faîte de la montagne n'en souffre point l'accumulation. Au sommet elles ne lui ont pas paru avoir plus de 3 mètres de profondeur; leur consistance est rare et légère, et elles ne récèlent que peu ou point de glace, attendu que les dégels sont là de trop courte durée pour les imprégner d'eau, et que la petite quantité qui se forme durant les plus beaux jours de l'été, s'écoule promptement le long des deux versants; mais sur la pente septentrionale ces mêmes neiges prennent peu à peu de la solidité et se transforment bientôt en un vaste glacier qui descend jusqu'au bord du lac et dont la hauteur verticale est d'environ 800 mètres.[1]

M. Agassiz regarde très-positivement un certain degré de chaleur comme indispensable à la formation de glaciers.

« Dans la zone que nous habitons, dit ce savant,
« on ne rencontre des glaciers que dans les hautes
« montagnes, et ce fait nous prouve qu'ils ne peuvent
« se former qu'au milieu de circonstances particulières
« et sous l'influence d'une température moyenne qui
« ne peut être au-dessous de 0°; car une foule de

1 Ramond, Voyage au Mont-Perdu. Journ. des mines; t. XIV, page 332.

« glaciers descendent jusque dans les vallées cultivées, « où la température moyenne est de + 4° et même « + 5°. Il serait également faux de conclure qu'il doit « nécessairement se former des glaciers là où la tem- « pérature moyenne est de 0°. Les circonstances locales, « les agents atmosphériques, la forme, la position et « la structure des montagnes, jouent ici un très-grand « rôle. Si une montagne est trop escarpée pour que « la neige puisse adhérer à ses flancs, elle ne produira « point de glaciers, attendu qu'ils ne peuvent pas « se former sans le concours de la neige. De même « une montagne isolée ne donnera pas facilement nais- « sance à des glaciers, alors même qu'elle s'élève dans « des régions dont la température moyenne est au- « dessous de 0°. Ainsi le Siedelhorn, dont la hauteur « est de 8524 pieds, n'a point de glaciers, quoique « son sommet soit couvert de neige pendant à peu « près toute l'année; il s'en forme au contraire un « grand nombre sur les crêtes bien moins élevées qui « séparent le glacier inférieur de l'Aar du glacier « supérieur.

« Les conditions les plus favorables à la formation « des glaciers existent lorsque plusieurs hautes som- « mités se trouvent très-rapprochées, telles que la « Jungfrau, l'Eiger, le Mönch, le Finsteraarhorn, le « Schreckhorn, etc., dans l'Oberland bernois; le Gor- « nerhorn, le Mont-Rose, le Lyskamm, etc., dans la « chaîne du Mont-Rose; ou bien le Mont-Blanc, l'Ai-

« guille du midi, le Dôme de Gouté, le pic du Géant,
« etc., dans la chaîne du Mont-Blanc. Il arrive alors
« que non-seulement les sommités, mais même les
« plateaux et les vallées intermédiaires, se recouvrent
« de glaciers, jusqu'à des niveaux où probablement
« il n'en existerait pas si les hautes cimes n'étaient
« pas aussi voisines l'une de l'autre. De vastes plateaux,
« qui ont dix, vingt, et même trente lieues carrées,
« ne présentent ainsi qu'une surface continue de glace,
« du milieu de laquelle les crêtes et les cimes des plus
« hautes montagnes s'élèvent comme des îles volca-
« niques du milieu de l'Océan. Ce sont ces vastes
« étendues de glaciers, auxquelles on a donné en Suisse
« le nom de *mers de glace.* »[1]

M. Durocher, qui a fait de si nombreuses et de si intéressantes observations sur le nord de l'Europe, regarde, comme M. Agassiz, une certaine configuration du sol comme nécessaire à la production des glaciers. Voici ce qu'il rapporte à ce sujet.

« Sur le plateau de l'île Cherry (île de l'Ours), à
« l'île d'Amsterdam, à l'île du Danois, etc., qui se
« trouvent à peu près à la limite des neiges perpé-
« tuelles, on ne voit pas de glaciers, bien que leur
« climat puisse être pris pour type des climats insu-
« laires ou maritimes, bien qu'il soit aussi neigeux
« et aussi humide que celui d'aucun lieu du monde;

1 Agassiz, Études sur les glaciers, page 20.

« ces îles ont cependant une assez grande étendue, et « il s'y trouve même des cimes qui ont jusqu'à 300 « mètres de hauteur (à l'île Cherry). Dans mon der- « nier voyage en Norwège j'ai encore eu l'occasion de « me convaincre que sur les terrains plats on ne voit « pas de glaciers susceptibles de se mouvoir et de « transporter au loin des débris de roches; que la « présence de sommités isolées est même insuffisante « pour leur formation, et qu'elle n'a lieu que là où « se trouve un groupe de rochers ou un massif découpé « en plusieurs parties, laissant entre elles des gorges « ou des dépressions. Les glaciers étant dans l'origine « d'épaisses accumulations de neige, qui, en descen- « dant vers des zones atmosphériques de plus en plus « chaudes, se changent peu à peu en glace par l'im- « bibition de l'eau et la congélation, il est évident que « des gorges environnées de pics et emmagasinant « toute la neige qui tombe autour d'eux, et qui glisse « suivant les pentes du terrain, de même que l'eau « pluviale et celle provenant de la fonte superficielle, « ces gorges doivent offrir les conditions les plus favo- « rables à la formation des glaciers. »[1]

M. Agassiz considère aussi l'eau comme nécessaire à la formation de la glace, car il dit dans ses études:

« M. Zumstein rapporte que lors de sa seconde ascen-

---

1 Durocher, Bulletin de la Société géol. de France; 2.ᵉ série, tome IV, page 67.

« sion du Mont-Rose, en 1820, il passa la nuit dans « une immense crevasse, à une hauteur de 13 128 pieds. « Les parois de cette crevasse étaient de glace très-« compacte et d'un bel azur; or, la présence d'une « crevasse et d'un massif de glace compacte à cette hau-« teur, prouve suffisamment que l'eau doit s'y trouver « par fois à l'état liquide, pour cimenter le nevé et le « transformer en glace. D'ailleurs, M. Zumstein ajoute « lui-même, qu'il fut assailli par la pluie à une hau-« teur de près de 10 000 pieds. Or, s'il y pleut, le « soleil, à bien plus forte raison, doit être capable de « fondre le nevé; car ce qui empêche habituellement « la fonte, c'est moins le défaut de chaleur que la sé-« cheresse de l'air qui transforme immédiatement la « neige en vapeur d'eau. Enfin, M. Hugi trouva le nevé « de la mer de glace de l'Oberland bernois, au pied « du Greinhorn, tellement imbibé d'eau, que son guide « y enfonçait jusqu'aux genoux. »[1]

Le nevé ne peut donc se transformer en glace, de l'aveu même de M. Agassiz, qu'à l'aide de l'eau, soit que cette eau provienne de la fonte de la croûte supérieure ou des pluies.[2]

Un autre fait extrêmement curieux, c'est que le point de départ des glaciers est souvent plus élevé au midi qu'au nord, et que l'exposition sud est

---

1 Agassiz, Études sur les glaciers, page 38.

2 *Idem, ibidem*, page 36.

généralement plus favorable que les revers septentrionaux pour leur formation. Deux citations, que nous empruntons encore avec intention à M. Agassiz, mettront ces observations en évidence.

« La hauteur à laquelle la neige tombée sur les gla-« ciers se transforme en glace, n'est point une ligne « constante, comme nous l'avons vu; elle varie dans « les divers glaciers, et même dans un seul et même « glacier, suivant les années. Dans les glaciers qui des-« cendent au midi et où l'influence des rayons solaires « agit d'une manière plus intense, cette ligne est sensible-« ment plus élevée que dans les glaciers qui débouchent « au nord. De même si un hiver a été très-neigeux, et « que le printemps qui succède offre de fréquentes « alternances de chaud et de froid, toute la neige « n'aura pas le temps de se fondre sur place; mais il « s'en transformera une partie en glace, qui s'ache-« minera avec la masse entière du glacier vers la partie « inférieure. »[1]

« L'action dissolvante du soleil sur les neiges aug-« mente en raison inverse de la hauteur; mais ici « encore il faut tenir compte de la position des cimes: « sur les flancs septentrionaux les neiges sont plus « persistantes que sur les flancs méridionaux; elles se « transforment moins facilement en glace. C'est essen-« tiellement sur les hauts plateaux, sur les mers de

---

1 Agassiz, Études sur les glaciers, page 140.

« glace proprement dites, que s'opère la transformation du glacier. De toute la masse de neige qui y tombe annuellement, une partie est absorbée par l'évaporation, une très-faible partie s'échappe à l'état liquide par les canaux souterrains; mais la partie la plus considérable se transforme en glace au moyen de la fonte opérée à la partie supérieure, l'eau servant à cimenter les couches inférieures, qu'elle transforme en glace, se congelant avec elles. Il est rare que dans les lieux très-élevés, la couche annuelle entière soit transformée en glace. Cette transformation de la neige en glace, je voudrais pouvoir dire cette *glacification* progressive de la neige, est cause que certains passages, inaccessibles pendant toute l'année, deviennent praticables pendant les derniers mois de l'été.[1] »

De véritables glaciers ne peuvent donc se former que par des alternances de température, et une observation très-curieuse de M. Martins vient mettre ce fait hors de doute.

« Les glaciers du nord, ou du moins ceux du Spitzberg, dit ce savant géologue, ne sont que de simples nevés, comparables tout à fait à la partie supérieure des glaciers suisses, dont on retrancherait le fleuve glacé qui descend dans la vallée. Ce sont de véritables champs de neige, qui se modifient par quelques

1 Agassiz, Études sur les glaciers, page 138.

« alternances de gel et de dégel, qui se transforment « en glace, mais en glace de nevé et non de véritables « glaciers. »

L'abaissement de la température, le peu d'évaporation qui a lieu à la surface de ces mers refroidies, sont les causes de cet état particulier vers lequel tendent également les glaciers des Alpes.

Autrefois, sans aucun doute, quand la température polaire était plus élevée pendant l'été, les glaciers pouvaient partir de ces immenses nevés polaires, lorsque la configuration du sol leur permettait de s'avancer sous des latitudes beaucoup plus basses, comme le font en Suisse les mers de glace dont l'extrémité vient s'arrêter et fondre au milieu des moissons.

Maintenant les glaciers polaires sont presque réduits à leurs nevés, comme le seront un jour ceux des Alpes, à mesure que leur *alimentation* diminuera avec l'affaiblissement de l'évaporation.

On voit par ce qui précède que c'est par le nevé que l'alimentation des glaciers a lieu; ainsi ils sont ou ont été d'autant plus étendus, que le cirque de réception des neiges occupe plus de surface. Il en est de même absolument pour les rivières qui sont en général d'autant plus grandes, qu'elles recueillent les eaux de plus vastes bassins et qu'elles partent de montagnes plus considérables; c'est ce qu'avait déjà remarqué M. Desor, lorsqu'il dit :

« Que la longueur d'un glacier dépend avant tout

« de la puissance de son nevé, ou, ce qui revient au « même, de l'étendue et de la profondeur du réser- « voir ou cirque qui est à son origine. »[1]

Aussi leur accroissement dépend bien plus de la quantité de neige qui tombe que de la température.

Le glacier de la Brenwa, ainsi qu'un grand nombre d'autres, a pris un développement très-considérable pendant les cinq années qui ont précédé 1811; et cependant M. Forbes remarque que la température moyenne de Genève, dans ces cinq ans, a été de 7.61 Réaumur, tandis que celle des quarante dernières années a été de 7.75, d'après M. Dove. Il regarde comme très-probable que l'accroissement des glaciers à cette époque a beaucoup plus dépendu d'une plus grande chute de neige que d'un changement de température.[2]

L'année pluvieuse de 1816 avait accumulé sur les Alpes une si grande quantité de neige, que la plupart des glaciers s'étaient avancés.

Tous les physiciens, au reste, ne s'accordent pas sur le mode d'accroissement des glaciers, et n'attribuent pas au nevé le privilége exclusif de l'alimentation. Loin de là. Selon M. de Charpentier, la glace des glaciers est due en grande partie à la congélation de

1 Comptes rendus de l'Académie des sciences; t. XX, p. 885.

2 Forbes, Voyage dans les Alpes. Biblioth. univ., nouvelle série, 9.e année, mars 1844, page 143.

l'eau qui, tant sous forme de pluie que sous celle de neige, est tombée directement sur lui et en a été absorbée. La glace provenant des hauts nevés ne forme qu'une partie, quelquefois très-minime, de la masse totale; mais plus un glacier présente de surface, plus la portion de glace résultant de l'eau congelée est considérable comparativement à celle qui est réellement descendue de la montagne. »[1]

M. Forbes, s'étayant sur des idées particulières que nous examinerons plus loin, accorde une grande part dans le renflement des glaciers, surtout dans les portions inférieures, à la diminution de leur état de fluidité, principalement vers le bas, qui tend à presser la glace dans son ensemble, à fermer les crevasses et à relever le glacier.[2]

Une cause assez puissante d'alimentation est la condensation directe de l'eau ou de la vapeur d'eau à la surface même du glacier. Ainsi M. Vogt a constaté par des pesées exactes de glaces exposées à l'air, qu'en effet, par des jours chauds, lorsque l'hygromètre indique une grande sécheresse de l'air, la glace perd beaucoup par l'évaporation; mais cette évaporation est en raison directe de la surface offerte à l'atmosphère, et égale pour toute espèce d'eau congelée,

---

1 De Charpentier, Lettre à M. Macaire. Bibl. de Genève, juin 1842, page 231.

2 Bibl. univ.; nouv. série, 9.e année, janvier 1844, page 173.

que ce soit de la neige, du nevé, de la glace blanche ou de la glace bleue. En revanche, lorsque la rosée est abondante, par des nuits froides et claires, la glace augmente effectivement de poids, mais également en raison directe de la surface, et cette augmentation est d'autant plus considérable, que la rosée a été plus abondante.[1]

M. Agassiz attribue une portion très-notable de l'accroissement des glaciers à la cause reconnue par M. Vogt.

« Il ne faut pas compter, dit-il, la neige qui tombe « sur la surface du glacier pendant l'hiver, car elle « fond au printemps sans se convertir en glace; la « seule partie de la neige tombée qui peut contribuer « à l'entretien du glacier, est celle qui sert à former « le nevé.

« La principale source de l'accroissement du glacier « et de l'énorme quantité d'eau qui le pénètre et s'en « écoule, paraît être la condensation considérable d'eau « atmosphérique qui s'opère à sa surface pendant la « nuit, ce qui produit des rosées d'une abondance « extrême.

M. Ch. Martins a ajouté à ce sujet le résultat des expériences qu'il a faites lui-même sur le rayonnement du nevé, et desquelles il faut conclure « que ce

1 Desor, Bibl. univ. de Genève; nouvelle série, 8.e année, avril 1846, page 336.

« corps est le plus rayonnant de tous. Le nevé se « trouvait, par une nuit claire, à 10 000 pieds au-« dessus du niveau de la mer, à une température de « — 17 centigrades, c'est-à-dire de 3° ou 4° plus bas « que le duvet de cygne, le corps le plus rayonnant « connu, et de 12° centigrades au-dessous de la tem-« pérature de l'air atmosphérique. Comme les hautes « cimes sont beaucoup moins nébuleuses que les « plaines, le nombre de nuits sereines y est beaucoup « plus considérable, et la condensation de l'eau par « le froid, dû au rayonnement des glaciers et du nevé, « doit être énorme. »[1]

Souvent aussi nous avons remarqué, même dans les plaines, de vastes champs de neige dont la température était de plusieurs degrés au-dessous de 0, et sur lesquels se formaient de magnifiques végétations de glace, composées d'une multitude de petits cristaux groupés, espèce de givre qui ne pouvait être produit que par l'eau contenue dans l'atmosphère et qui se déposait sur la neige.

Les glaces polaires elles-mêmes peuvent augmenter par la même cause. Le capitaine Parry rencontra dans une latitude très-élevée une série de glaçons d'une structure tout à fait singulière; leur surface était presque entièrement couverte d'aiguilles de glace, d'une sorte de givre gigantesque, dont les cristaux

---

1 Bibl. univ.; nouv. série, 10.e année, octobre 1845, p. 372.

implantés verticalement avaient de 15 à 30 centimètres de longueur sur 15 millimètres d'épaisseur. Ces *buissons de glace* qui rendaient la marche extrêmement pénible, déchiraient les bottes et blessaient les pieds.

Dans cette énumération des ressources alimentaires des glaciers, nous croyons cependant que le nevé est toujours la principale; que l'étendue du cirque et la quantité de neige qui s'y dépose, ainsi que les oscillations plus ou moins grandes de la température, l'action des pluies, du soleil, l'exposition et la forme particulière du sol sont autant de causes qui peuvent avoir une influence très-marquée sur la formation des glaciers, et comme nous allons le voir maintenant, sur leur progression et leur étendue.

CHAPITRE VII.

DE LA STRUCTURE ET DE LA PROGRESSION DES GLACIERS.

Les divers physiciens qui ont étudié les glaciers, ne sont d'accord ni sur leur structure ni sur leur mode de progression. On peut rattacher à trois modes d'extension, les opinions émises par tous ceux qui se sont occupés de ce sujet. Le *glissement sur le fond*, la *dilatation* et la *plasticité*.

Nous allons examiner sommairement ces trois théories. La plus généralement adoptée et presque la seule accueillie jusque dans ces derniers temps, est celle du glissement. De Saussure, André de Luc, Escher de la Linth ont été ses partisans, et attribuaient la progression au poids des glaces et à la forme de la face inférieure qui repose sur le sol. Quelle que soit la théorie qu'on adopte, on ne peut nier le glissement, en reconnaissant que les glaciers avancent sur des plans plus ou moins inclinés. Cette théorie peut être incomplète, mais elle ne peut être entièrement abandonnée. Toutefois il ne faudrait pas conclure que le glacier marche d'autant plus vite que la pente de la vallée qu'il remplit est plus considérable. Car, comme l'indique M. C. Martins, la pente du glacier du Grunnberg

est de 30 degrés, celle du glacier de l'Aar de 3 degrés; néanmoins, un piquet placé au milieu du glacier du Grunnberg ne s'avance en dix-sept jours que de 2^m,22; sur le glacier de l'Aar, à la même distance relative de l'extrémité inférieure, un piquet a marché de 2^m,94.[1]

La forme que présentent les parois de la vallée, les obstacles que le courant glacé rencontre dans la direction qu'il a prise, ont plus d'influence sur sa progression que l'inclinaison même du thalweg. C'est au point que, si l'obstacle est placé d'un seul côté, le mouvement de progression devient inégal, le glacier ralentit son mouvement de ce côté, tandis que le bord opposé continue de cheminer, et des blocs placés sur une même ligne transversale se trouvent éloignés au bout de quelques jours, et vous indiquent des temps inégaux de translation pour les deux moraines latérales.

Pour que le glissement puisse toujours avoir lieu, il faudrait prouver que le glacier n'est pas gelé sur son fond. M. Hopkins assure que le point de contact avec le sol est toujours au-dessus de 0. Le contraire est affirmé par d'autres observateurs.

La théorie de la dilatation, admise par Grunner et de Charpentier, le prieur Bisselx, Gilbert, a été tout récemment développée de nouveau par M. Agassiz,

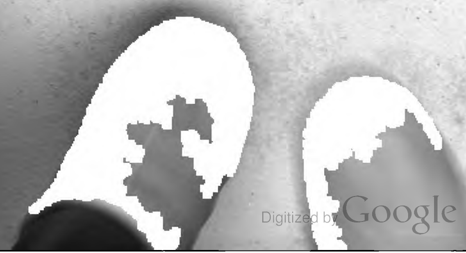
1 De quelques résultats obtenus sur le glacier de l'Aar. Lettre de M. Martins à M. Arago. Comptes rendus de l'Académie des sciences, tome XXIII, page 825.

avec le talent et la conscience que ce savant apporte à tous ses travaux. Le long séjour qu'il a fait sur le glacier inférieur de l'Aar, lui a permis d'y faire un grand nombre d'observations, dont les unes viennent à l'appui de cette théorie, tandis que d'autres lui sont évidemment contraires.

Ceux qui l'admettent, reconnaissent que la glace des glaciers vient du nevé, et que primitivement elle est formée d'un grand nombre de parties qui se rapprochent, en laissant entre elles de petits intervalles, et que malgré la densité croissante de la glace, il reste toujours un grand nombre d'interstices, dans lesquels l'eau peut pénétrer jusqu'au fond du glacier. Là elle se congèle pendant les alternatives du froid, et agissant dans tous les sens par suite de sa dilatation, elle écarte toutes les parcelles de glace préexistantes, et augmente le volume général de la masse; mais comme le glacier est acculé contre des obstacles insurmontables qui l'encaissent, le mouvement a lieu dans le sens où ces obstacles n'existent pas, et il suit alors la pente du sol.

Deux points très-importants avaient besoin d'être éclaircis dans cette théorie; savoir, si l'eau s'infiltre réellement dans le glacier, et quelle est la température intérieure de ce dernier.

L'i[illegible] a été démontrée par M. Agassiz, au mo[illegible]les colorés. En faisant creuser dans la gla[illegible] inférieur de l'Aar, situé à une très-



grande élévation, il trouvait toujours de l'eau accumulée dans les trous de sonde.

M. Forbes s'est assuré que l'eau pénètre en été à une très-grande profondeur dans les glaciers; il s'est convaincu que cette eau ne gèle jamais en été, et ne gèle qu'en partie pendant l'hiver : il résulte de là qu'un glacier ne constitue pas une masse solide de glace, mais un composé de glace et d'eau, qui cède plus ou moins, suivant son état d'humidité et d'infiltration. [1]

La perméabilité de la glace était du reste la seule chose à constater, car en été l'eau abonde à la surface.

« Quand on remonte un glacier par un jour chaud, « on ne peut qu'être frappé de la quantité de ruisselets « qui circulent à sa surface, et l'on se persuade facile- « ment que cette quantité excède de beaucoup celle « qui s'échappe de dessous l'extrémité du glacier; mais « alors que devient cette masse d'eau? C'est là l'un des « grands problèmes de l'étude des glaciers, et de sa « solution dépend en partie le sort de la théorie de « l'infiltration. » [2]

C'est encore au savant professeur de Neufchâtel que l'on doit des observations très-précises sur la température intérieure des glaciers. Il a trouvé celle

---

1 Voyage dans les Alpes par M. Forbes; Bibl. universelle, nouv. série, 9.e année, mars 1844, page 140.

2 Desor, Bibl. univ., 2.e série, 8.e année, mai 1843.

du glacier de l'Aar, à la profondeur de 8 mètres, à — 2° centigrade; c'est exactement la température moyenne annuelle de l'air au lieu où s'est faite l'expérience, l'hôtel du Neufchâtelois. On a trouvé, à 66 mètres de profondeur, de l'eau liquide, que l'on s'est assuré ne pas provenir de la surface.[1]

Or, si l'eau était liquide à une grande profondeur, le glacier, à 8 mètres, accusait seulement la moyenne de la température du lieu, comme tout autre sol aurait pu le faire; aussi M. Agassiz a-t-il reconnu que la température est à peu près constante dans l'intérieur de la masse; jamais il n'a vu une température supérieure à — 0 et inférieure à — 0,3, alors même que la température extérieure descendait à — 5° et — 6°.[2]

On conçoit en effet que l'intérieur du glacier ait toujours à peu près une température voisine de 0. Car, comme l'a très-bien remarqué M. Ladame, « la « conductibilité et la diathermanéité de la glace étant « très-faibles, la seule cause de réchauffement du « glacier résulte de l'introduction de l'eau dans sa « masse; ce qui a lieu chaque fois que la température « extérieure est au-dessus de 0; car alors il y a fonte « à la surface du glacier. »[3]

---

1 Bibl. univ., nouv. série, 10.e année, octobre 1845, p. 371.

2 *Idem*, 8.e année, 2.e série, avril 1843, page 349.

3 Ladame, Bibl. univ. de Genève; 4.e série, t. III, p. 130.

Aucune portion d'eau ne peut non plus se congeler, sans dégager dans l'intérieur du glacier une certaine quantité de calorique.

« La chaleur latente produite par un mètre cube « d'eau qui se congèle, est = 79 000 calories; elle « est suffisante pour élever de 1 degré 88 mètres cubes « de glace.

« Ce qui caractérise ce mode de réchauffement, c'est « son action sur l'intérieur même du glacier à des « profondeurs quelconques, tandis que la chaleur ex- « térieure ne peut se faire sentir qu'à la surface, et « n'agit que peu ou même pas du tout dans la profon- « deur. »[1]

M. Forbes a trouvé aussi dans un glacier dont la surface était gelée depuis plusieurs jours, l'eau encore liquide à une très-petite profondeur.

Il paraît donc certain que la croûte extérieure du glacier abrite tout l'intérieur contre l'action du froid; mais cette action n'a lieu que dans la glace toute formée, et non dans le nevé qui peut se refroidir considérablement, quand il est situé à une grande hauteur.

« A deux décimètres de profondeur, le 23 août « 1844, sur le grand plateau du Mont-Blanc, à 900 « mètres au-dessous du sommet, la température du

---

1 Ladame, Passage de la neige farineuse à la neige grenue, etc. Bibl. univ. de Genève, 4.e série, tome III, page 131.

« nevé était en moyenne de — 10°; pendant les nuits « sereines, elle descendait à — 18 ou — 20, et nous « nous sommes assurés, dit M. Martins, que pendant « nos quatre jours de séjour sur le grand plateau, « l'ablation superficielle avait été complétement nulle. »[1]

La présence de l'eau qui ne se congèle pas dans l'intérieur du glacier, malgré les inégalités de température qui surviennent au dehors, est une des plus graves objections que l'on puisse faire à l'ingénieuse théorie de la dilatation.

La stratification bien démontrée des glaciers vient encore contredire cette théorie. Ces couches ne peuvent être dues qu'au dépôt successif des neiges de chaque hiver, et leur existence dans le glacier témoigne qu'il est réellement composé de la masse du nevé lui-même. C'est ce qu'indique aussi la présence des bandes bleues, qui paraissent produites par la congélation, pendant l'hiver, de l'eau d'infiltration du nevé.[2]

M. Merian fait valoir encore contre la théorie de la dilatation de la glace la considération : « qu'avant de « déterminer la marche du glacier en avant, elle devrait « commencer par combler toutes les crevasses, pour « remplir tous les vides entre la glace et les parois des

---

1 Martins, Nouvelles observations sur le glacier du Faulhorn; Bibl. univ., nouv. série, 10.e année, avril 1845, page 342.

2 Merian, Sur la théorie des glaciers; Bibl. univers., nouv. série, 8.e année, août 1843, page 330.

« rochers qui l'encaissent, ce qui est contraire aux faits « observés. »[1]

D'un autre côté, si la théorie de la dilatation était la véritable cause du mouvement des glaciers, leur marche devrait s'établir par oscillations diurnes ou nocturnes, ou par des temps plus ou moins égaux de progression et de stabilité, ce qui n'a pas été observé; et, pour certaines températures, il faudrait encore tenir compte de la curieuse propriété que possède l'eau une fois congelée de se contracter par le froid.

Il résulte d'expériences très-délicates exécutées par M. Brunner fils, de Berne, que la glace se contracte par l'abaissement de température, plus que tous les autres corps solides qui ont été étudiés sous ce point de vue.

La densité de — 0, 91 800 à 0 devient 0, 91 912, à — 10 et 0, 92 025 à — 20.

« Si l'on compare ces faits aux expériences de « M. Desprez, sur la dilatation de l'eau à l'état liquide, « on arrive au résultat assez paradoxal que l'eau à l'état « liquide se dilate par l'abaissement de température, « tandis qu'à l'état solide elle se contracte par le même « changement de température. »[2]

---

1 Merian, Sur la théorie des glaciers; Bibl. univers., nouv. série, 8.e année, août 1843, page 329.

2 Brunner, fils, Annales de chimie et de physique; 3.e série, juillet 1845, page 378.



Une troisième théorie, celle de la ductilité ou plasticité de la glace, a été émise, il y a quelques années, par un géologue très-distingué, Monseigneur Rendu, évêque d'Annecy.

« Il est une foule de faits, dit ce savant prélat, qui « sembleraient faire croire que la substance des glaciers « jouit d'une espèce de ductilité qui lui permet de se « modeler sur la localité qu'elle occupe, de s'amincir, « de se rétrécir et de s'étendre comme le ferait une « pâte molle. Cependant, quand on agit sur un mor- « ceau de glace, qu'on le frappe, on lui trouve une « rigidité en opposition directe avec les apparences « dont nous venons de parler; peut-être des expériences « faites sur de plus grandes masses donneraient d'autres « résultats. »[1]

Depuis, cette théorie a été développée par M. Forbes, dont les travaux sont connus et appréciés de tous ceux qui se sont occupés de cette curieuse question.

« Dans un glacier, dit M. Forbes, il y a mouvement « et changement perpétuel, et cependant la distribu- « tion des accidents reste sensiblement la même. Chaque « année et une année après l'autre, les cours d'eau suivent « les mêmes directions, leurs torrents se précipitent dans « le cœur du glacier par des entonnoirs verticaux, que « l'on appelle *moulins*, placés aux mêmes endroits; les « fissures, quoiqu'elles fassent des angles très-variés avec

1 Mémoires de l'Académie de Chambéry, tome X.

« l'axe ou les côtés du glacier, sur les différentes parties « de sa longueur, sont toujours disposées d'une manière « symétrique sur deux points opposés. Les mêmes por- « tions du glacier reconnues par leur position relative « avec des rochers immobiles, permettent chaque année « le passage, et les mêmes parties sont traversées par « d'innombrables fissures; néanmoins, la glace solide « d'une année est la glace fissurée de l'année suivante, « et la même portion qui cette année forme la muraille « d'un moulin, sera l'année d'après transportée à quel- « ques centaines de pieds en avant, sans traces de per- « foration, tandis que la cascade reste immobile ou à « peu près, par rapport aux objets fixes qui l'envi- « ronnent. Tous ces faits attestés par une longue et « continuelle expérience, prouvent que la glace des « glaciers se moule insensiblement et continuellement « sous l'influence des circonstances extérieures, dont « la principale, il faut le remarquer, est son propre « poids qui modifie sa forme, laquelle est aussi en « rapport avec celle de la surface, sur laquelle passe le « glacier, et avec celle des parois, entre lesquelles il « se fait jour en avant. Il est à cet égard exactement « comparable au lit d'une rivière qui présente, ici ses « eaux profondes et tranquilles, là ses tournants conti- « nuels, et qui, changeant continuellement de sub- « stance, conserve pourtant toujours le même aspect. »[1]

---

1 Bibl. de Genève; décembre 1842, page 358.

D'après lui, la théorie de la dilatation successive pour la marche des glaciers n'est pas fondée. Par une gelée de — 6.6 sur la mer de glace, les effets du froid ne s'étaient pas fait sentir dans la glace plus profondément, qu'on n'aurait dû attendre qu'ils l'eussent fait dans la terre, dans les mêmes circonstances. Si la théorie de la dilatation était fondée, dit M. Forbes, un changement aussi brusque, une température de — 6.6, succédant à la chaleur de l'été, devait produire une accélération instantanée dans la marche moyenne du glacier. Mais c'est le contraire qui eut lieu; le mouvement diurne devint moins considérable qu'il n'avait été antérieurement, et dès que le temps se fût radouci, que la glace nouvellement formée se fût fondue, et que la neige fût redevenue de l'eau, le glacier saturé d'humidité dans tous ses pores, reprit sa marche à peu près comme au milieu de l'été.

M. Forbes admet avec M. de Charpentier que la congélation de l'eau infiltrée des glaciers forme une partie importante de leurs fonctions, mais il ne considère pas les variations diurnes comme ayant une grande action, tandis qu'il admet celle du froid périodique des hivers, en la considérant toutefois comme incapable de faire avancer le glacier en glissant le long de son lit, mais en le dilatant dans son épaisseur et lui rendant en hiver le volume qu'il a perdu en été.[1]

1 Bibl. de Genève; décembre 1842, page 364.

Il considère un glacier « comme un fluide impar-« fait ou un corps visqueux qui s'écoule sur les sur-« faces en pente, suffisamment inclinées sous l'influence « de la pression mutuelle de ses parties. »[1]

M. Forbes dit « que l'admission d'un mouvement « semblable à celui d'un corps demi-liquide, produit « par le poids de la glace même, paraît expliquer les « principaux faits de la marche des glaciers, tels que: « le mouvement plus rapide au centre que sur les « bords; son accélération près de l'extrémité inférieure; « sa plus grande rapidité en été qu'en hiver, en temps « chaud qu'en temps froid; son accélération pendant « la pluie, son retard pendant la gelée. »[2]

Il est très-vrai, comme nous le verrons tout à l'heure, que le glacier marche plus vite en été qu'en hiver, que sa progression est plus rapide lorsqu'il fait chaud que lorsque le froid se fait sentir, qu'il avance plus le jour que la nuit, plus rapidement au milieu ou dans sa plus grande épaisseur que sur ses bords. La comparaison que M. Forbes établit entre la plasticité, qu'il suppose à la glace, et celle de la cire à cacheter ou de la poix qui coule lentement, se moule sur tous les objets et ne se brise pas moins avec une grande netteté, a quelque chose qui, au premier abord, paraît vraisemblable; mais quand on voit d'énormes

---

1 Forbes, Lettres au professeur Jameson.

2 Bibl. de Genève; décembre 1842, page 366.

glaçons conserver leur rigidité, se briser comme le verre plutôt que comme la résine, on doute encore de la vérité de cette théorie, malgré les nombreuses observations de M. Forbes et l'autorité des deux savants qui l'ont avancée et soutenue.

La supposition d'un glacier rigide ne peut se concilier avec le fait maintenant démontré, que les parties centrales se meuvent plus vite que celles qui sont situées sur les côtés, et encore moins avec les expériences faites par M. Forbes sur le front terminal du Glacier des Bois, et dont le résultat a été de faire connaître que la vitesse du courant glacé est variable dans une direction verticale, comme la vitesse de l'eau d'une rivière, c'est-à-dire, que la partie du glacier qui touche le fond va moins vite que les parties supérieures[1]. Or, si les différentes parties superposées marchent avec des vitesses différentes, il faut bien que les particules de glace roulent les unes sur les autres comme de l'eau.

Aussi, M. Whewell est-il disposé à adopter une théorie qui admettrait à la fois le glissement et la plasticité.[2]

Cette opinion est partagée aussi par M. Hopkins. Ses recherches lui ont démontré que le mouvement des glaciers est plus considérable (du moins pendant

---

1 Forbes, Bibl. univ. de Genève; 4.e série, t. III, p. 113.

2 Whewell, *Philos. Magaz.* et Bibl. univers., nouv. série, 10.e année, octobre 1845, page 366.

l'été) dans la portion inférieure que dans la partie supérieure. Il est aussi plus rapide par un temps chaud que lorsqu'il fait froid.

Ces faits, ainsi que plusieurs autres cités par l'auteur, sont en parfaite harmonie avec la théorie du glissement.

« Les deux théories du glissement et de la plasticité, « dit M. Hopkins, ont probablement toutes deux quel- « que chose de vrai; ainsi, les défenseurs de la visco- « sité des glaciers, ne peuvent nier qu'il n'y ait aussi « glissement sur leur fond : les stries et le poli des « roches sur lesquelles ils marchent suffisent pour le « démontrer. D'un autre côté, chacun reconnaît une « sorte d'élasticité, de plasticité dans la glace, qui « peut lui permettre un certain mouvement, comme « le ferait tout autre corps élastique sous l'empire d'une « force active; seulement, dans chacune de ces théo- « ries, on accorde à la cause que l'on préfère, de beau- « coup la plus grande part dans le phénomène. »[1]

Peut-être, pour arriver tout à fait à la vérité, faudrait-il encore, malgré la réunion de ces deux théories, faire une part assez grande à l'eau qui s'infiltre entre les fragments de glace, qui les divise nécessairement et permet ainsi le mouvement intérieur,

---

1 Sur le mécanisme du mouvement des glaciers, par M. Hopkins; *Philos. Magaz.*, février et avril 1845. — Bibl. univers., nouv. série, 10.[e] année, juin 1845, p. 363.

analogue à celui d'un corps solide dont un liquide huileux adoucirait les frottements, indépendamment du poids que ce liquide ajouterait à la masse.

A peine la neige est-elle tombée sur un plan déclive, que sa progression vers le bas commence. M. Ed. Collomb a remarqué dans les Vosges que les masses de nevé imbibées d'eau, possédaient déjà un mouvement propre sur les plans inclinés; il s'en est assuré en remarquant que les cercles de fusion, qui se forment autour des arbres, ne demeuraient pas concentriques et devenaient excentriques.

La mousse et les lichens, dont ces arbres sont quelquefois couverts, sont usés et frottés de ce côté, et tout cela indépendamment de l'orientation des plans, pourvu qu'il y ait pente.[1]

Nous avons vu le même effet, produit à la même époque, dans les montagnes d'Auvergne, et avant de connaître les remarques de M. Collomb.

M. Agassiz lui-même semble revenu à des idées semblables, ou du moins accorde maintenant une très-large part dans le mouvement à l'eau infiltrée et non congelée; car il considère le glacier « comme formé « d'un assemblage de fragments angulaires de glace, « entre lesquels circule de l'eau, dans laquelle on voit « nager des animalcules vivants..... La quantité d'eau

1 Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences; t. XX, page 1307.

« qui gorge le glacier, paraît être la cause de son mou-
« vement, en raison de la pression hydrostatique qu'elle
« exerce sur la masse. En effet, ce mouvement devient
« plus rapide lorsque l'eau abonde, et il se ralentit
« lorsqu'elle vient à diminuer par une cause quel-
« conque, par exemple, une chute de neige, pendant
« trois ou quatre jours de gelée, ce qui s'oppose à ce
« que l'eau arrive à la surface du glacier; pendant ce
« temps, il se vide d'eau comme une éponge pressée. »[1]

Après toutes ces observations, on voit que l'on est sur le point d'arriver à la solution du problème, si déjà il n'est pas résolu, en admettant des causes un peu plus complexes que celles qui ont été présentées isolément par chacun des auteurs qui se sont le plus spécialement occupés de cette question.

L'étude que nous allons faire des circonstances qui retardent ou activent la progression ne peut manquer d'éclaircir encore quelques points douteux.

Progression.

Quelle que soit la théorie que l'on admette dans la marche des glaciers, on reconnaît que leur progression est sujette à un très-grand nombre d'inégalités, dont les causes ne sont pas toutes connues, mais dont plusieurs cependant sont très-appréciables.

---

1 Bibl. univ., nouv. série, 10.e année, octobre 1845, p. 371.

Une des plus remarquables est l'influence qu'exercent sur eux les différences de température : le froid les arrête, la chaleur active leur mouvement, ils vivent en été et s'engourdissent en hiver.

La présence de l'eau liquide est la principale cause de leurs mouvements progressifs, et l'on conçoit dès lors pourquoi les glaciers avancent continuellement et plus rapidement pendant l'été que pendant les autres saisons.

Il n'en est pas de même en hiver; le glacier est alors enseveli sous des accumulations considérables de neige, qui empêchent quelquefois de le distinguer des surfaces neigeuses environnantes. Toute la surface est gelée; les filets d'eau qui la sillonnent pendant l'été cessent de courir; les torrents même qui s'échappaient de leur extrémité inférieure diminuent de volume ou tarissent complétement. Toute sa masse est dans un état de rigidité permanente, qui la maintient dans une immobilité complète jusqu'à l'époque du retour des variations de la température.[1]

En mars 1841, MM. Agassiz et Desor firent une course au glacier et à la chute de la Hendeck. « Cette « cascade, si imposante en été lorsqu'elle s'annonce « de loin au voyageur par le bruit des masses d'eau « qu'elle lance, en les brisant au fond du précipice, « était maintenant muette comme toute la nature en-

1 Agassiz, Études sur les glaciers, page 211.

« vironnante. Nous eûmes même quelque peine à la « trouver, et, lorsque nous l'eûmes découverte, nous « ne vîmes pas sans une sorte de désappointement « qu'elle se réduisait à un petit filet d'eau qui coulait « humble et inaperçu le long des rochers, se permet- « tant à peine quelques bonds timides sur ces gradins « qu'il débordait si fièrement quelques mois aupara- « vant. Il y avait là matière à bien des réflexions, et « nous disions en nous-mêmes : que de gens feraient « bien d'aller voir la Hendeck en hiver! »[1]

La même cause qui les arrête en hiver se renouvelle en été pendant la nuit.

« Lorsque le soir la température tombe au-dessous « de zéro, tous les petits filets d'eau qui courent à la « surface du glacier, et toutes les gouttières qui se dé- « chargent sur ses flancs, s'arrêtent; la surface des « flaques dormantes se congèle, le glacier se hérisse de « toutes parts de petites aiguilles de glace qui résultent « de la congélation, et, partant, de la dilatation de « l'eau qui remplissait pendant le jour tous les in- « terstices et fissures qui existent entre les fragments « anguleux dont se compose le glacier. Sur le glacier « inférieur de l'Aar, la température de l'air était à « peine tombée à — 1° 5, que déjà j'observais ce phé- « nomène. Il en résulte une sorte d'efflorescence den- « droïde très-variée et d'un fort bel effet; les petites

---

1 Desor, Bibl. de Genève, avril 1842, page 364.

« crevasses se couronnent d'une efflorescence d'aiguilles, « dirigées dans tous les sens au-dessus de leurs bords, « et, lorsque le froid de la nuit est très-intense, on « voit même l'eau des crevasses, qui ont plus d'un « pouce de large, se congeler entièrement et déborder « le niveau de la surface adjacente du glacier, au-dessus « de laquelle elle forme des arêtes très-variées, comme « j'en ai observé surtout sur le glacier d'Aletsch et sur « celui de l'Aar. Les habitants des Alpes donnent le « nom de *fleurs de glacier* à ces bouquets d'aiguilles de « glace qui affectent souvent les formes les plus va- « riées. Mais dès le matin toutes ces fleurs disparaissent « avec le retour de la chaleur; les petits filets d'eau « reprennent leur cours, les flaques se dégèlent et la « surface du glacier reprend l'apparence animée qu'elle « a habituellement pendant les jours d'été. J'ai vu sur « le glacier inférieur de l'Aar des ruisseaux de 2 pieds « de large sur 8 à 10 pouces de profondeur, tarir « complétement le soir par une température de — 1° 5 « et — 2°, et reprendre leur cours rapide le lendemain « par quelques degrés seulement au-dessus de zéro. »[1]

« Jusqu'à dix heures du matin environ la tranquil- « lité règne dans le glacier, tout y est mort; plus tard « commence le bruit des craquements et des ava- « lanches. »[2]

---

1 Agassiz, Études sur les glaciers, page 208.

2 Colonel de Hauslab; cité par Boué : Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, tome I, page 163.

L'immobilité apparente de l'extérieur n'arrête pas cependant le glacier dans sa marche; des mesures précises le démontrent.

Le 27 juin 1843, M. Forbes vérifia « que la station « qu'il avait choisie sur la mer de glace s'était avan« cée de 16½ pouces en 26 heures, du côté du bas du « glacier. Le 28, il trouva une avance de 17 pouces « 4 lignes en 25½ heures; il constata que le mouvement « avait été de 8 pouces en 12 heures dans la nuit du « 28 au 29, tandis qu'il avait été de 9½ pouces dans « les 12 heures de la journée du 28; il détermina dans « la même journée une avance sensible du glacier au « bout d'un intervalle de 1 heure ¼ seulement. »

« La continuité du mouvement était ainsi indubi« table, et son augmentation paraissait correspondre à « l'accroissement de la chaleur, ce qui a été confirmé « par les observations subséquentes; ces résultats étaient « d'autant plus intéressants, que la station choisie sur « la glace était fortement crevassée, et que, malgré cette « dislocation, le mouvement était régulier et continu. »[1]

Ces curieuses observations prouvent que les glaciers ne marchent pas par saccade, mais d'une manière continue, et que la température élevée favorise leur développement, leur marche, leur vitesse : ce n'est donc pas une période frigorifique qui a pu les étendre.

« Plus haut, à la base des glaciers de Léchaud et de

---

1 Bibl. univ.; nouv. série, 9.e année, février 1844, p. 135.

« Talèfre, le mouvement de la glace en 24 heures n'était « à la même époque que de 10$\frac{1}{5}$ pouces; quand le « temps se refroidissait, le ralentissement de la marche « du glacier en était la conséquence. »

Ainsi, voilà un glacier qui avance plus rapidement le jour que la nuit, qui marche plus vite vers sa base, c'est-à-dire, dans un milieu plus chaud qu'à sa partie supérieure, où la température est moins élevée; il suit même jusqu'aux modifications thermométriques qui surviennent à chaque instant, et l'on invoque une période de froid pour favoriser l'extension des anciens glaciers, tandis qu'en admettant une plus grande chaleur, on arrive très-facilement à l'explication des glaciers anté-historiques, pourvu qu'on leur accorde une source puissante d'alimentation qui existait en effet.

M. Forbes évalue le mouvement total de la partie latérale de la mer de glace au Mont-Anvert, « du 29 « juin 1842 au 8 juin 1843, c'est-à-dire en 322 jours, « à 432 pieds anglais, ce qui correspondrait pour l'an- « née à près de 490 pieds. »[1]

« La longueur entière de la mer de glace, d'après le « même savant, est de 47 920 pieds, avec une différence « de niveau de 7484 pieds, ce qui correspond à une « pente moyenne de 8° 52′ 36″, avec des parties fort « escarpées vers le bas et vers le haut. »

---

1 Forbes, Bibl. univers.; nouv. série, 9.e année, mars 1844, page 137.

La progression, d'après ses observations, est plus rapide à l'extrémité qu'à la partie supérieure et au centre que sur les parties latérales. Le glacier éprouve un accroissement de vitesse par la chaleur, par un temps chaud et humide, de nature à accroître sa liquéfaction; il se ralentit, son mouvement cesse presque entièrement pendant l'hiver.

Il paraîtrait cependant que sur tous les glaciers l'accélération n'aurait pas lieu vers la base, car il existe au moins un fait tout à fait opposé.

MM. Agassiz et Desor, qui se sont occupés avec beaucoup de soins de déterminer la progression du glacier inférieur de l'Aar, ont reconnu avec MM. Dollfuss, Wild et Otz, que ce glacier marchait plus vite dans sa partie moyenne. Ils estiment sa vitesse à 71 mètres par an, tandis que vers l'extrémité inférieure elle n'est plus que de 39 mètres, et elle augmente vers le haut au point d'acquérir 75 mètres[1]. Cependant la rapidité de la pente de la vallée que parcourt le glacier s'accroît dans la portion inférieure de celui-ci.

Quelle que soit la valeur du mouvement par lequel un glacier s'avance, il peut atteindre des extrêmes très-variables dans son extension. Ainsi, on peut fixer la limite inférieure des neiges éternelles dans les Alpes suisses, d'après Saussure et le professeur Merian,

---

1 Lecture faite par M. Agassiz à la Société helvétique des sciences naturelles, août 1845.



à 2700 mètres. Cette limite coïncide à peu près à une température moyenne de — 3.8 centigrades. Mais l'eau peut conserver l'état solide sous une température bien plus élevée; c'est ce qui fait que certains glaciers descendent au loin dans les plaines, préservés de la chaleur solaire par une petite couche de glace qui fond continuellement et met la partie centrale du glacier à l'abri.

La température climatérique du point où vient s'arrêter un glacier n'a que peu d'importance et n'a rien de fixe, car on voit dans les Alpes suisses l'extrémité des mers de glace descendre à des niveaux très-variables, et par conséquent à des températures inégales. C'est l'alimentation plus ou moins grande du nevé qui détermine l'extension du glacier.

« Tous les glaciers n'arrivent pas au même niveau; « il y en a qui cessent déjà entre 7000 et 8000 pieds « de hauteur absolue, tandis que d'autres descendent « jusqu'à près de 3000 pieds. Leur longueur est également très-variable; ceux qui atteignent les niveaux « les plus bas ne sont pas toujours ceux qui ont le « plus long cours. Loin de là; nous avons dans les « Alpes des exemples frappants du contraire; ainsi « le glacier inférieur de l'Aar, le plus grand de tous « les glaciers de l'Oberland bernois, ne descend qu'à « 5728 pieds d'après M. Hugi, tandis que le glacier « inférieur du Grindelwald, quoique moins long, « arrive jusqu'à 3200 pieds. Le grand glacier d'Aletsch,

« le plus long de tous ceux du Valais, ne descend pas « plus bas que 4000 pieds.»[1]

De Saussure cite le glacier de la Brenva comme arrivant jusque dans des lieux très-chauds. « On y « voit, dit-il, une chose extraordinaire : des moissons « de la plus grande beauté si voisines des glaces, que « l'on a peine à comprendre que le même soleil qui « mûrit les moissons ne puisse pas fondre les glaces « qui les touchent. »[2]

« Les glaciers se rétrécissent en général vers leur « partie terminale. Tel glacier, dont la largeur est « d'une lieue et au delà à sa partie supérieure, n'a « guère plus que 500 à 600 pieds de large à son extré- « mité. Quant à leur épaisseur, on n'a pas encore fait « d'observations suivies à cet effet, mais elle paraît « être également très-variable. M. Hugi l'évalue en « moyenne à 80 et 100 pieds pour la partie inférieure, « et à 120 jusqu'à 180 pieds pour la partie supérieure. « La partie terminale est souvent bien moins puissante; « certains glaciers, qui descendent très-bas, n'ont « guère que 50 ou 60 pieds de haut à leur extré- « mité. »[3]

La configuration du sol exerce aussi une très-grande influence sur leur extension; les glaciers du Spitzberg

---

1 Agassiz, Études sur les glaciers, page 23.
2 Saussure, §. 855.
3 Agassiz, Études sur les glaciers.

n'ont presque pas de longueur, caractère auquel cette circonstance contribue certainement, mais qui tient peut-être aussi à la température basse qui règne constamment dans ces régions, et qui ne leur permet pas d'avancer; c'est à l'absence des vallées que M. Martins attribue leur défaut de développement.[1]

Dans les Alpes suisses les glaciers marchent encore avec une certaine rapidité, et finissent par transporter dans des lieux où la fusion peut s'opérer, les neiges condensées des hauts nevés. Une structure rubannée, que l'on observe surtout dans quelques-uns d'entre eux, indique, selon M. Forbes, la juxtaposition des couches annuelles du haut en bas.

M. Forbes considére ces bandes comme une succession de vagues de glace plus ou moins compacte, qui seraient de véritables couches annulaires concentriques du glacier, qui montrent son âge comme celles d'un arbre; seulement elles augmentent en largeur, au lieu de diminuer à mesure que la glace est plus ancienne, ce qui coïncide encore avec le fait déjà établi que la partie supérieure d'un glacier se meut, généralement parlant, plus lentement que son extrémité inférieure.[2]

M. Forbes a déterminé, dans l'été de 1843, le

---

1 Martins, Bulletin de la Société géologique de France; t. XII, page 126.

2 Forbes, Bibl. de Genève; décembre 1842, page 347.



nombre des bandes situées dans la partie supérieure de la mer de glace, comprise entre Trélaporte et l'Aiguille de la Noire : « il a compté 19 intervalles dans « un espace de 12600 pieds, ce qui correspond à un « intervalle moyen de 666 pieds. Ces grandes bandes « n'existent pas seulement en plan, mais en relief, à la « surface du glacier. »[1]

M. Agassiz admet aussi que l'on peut compter l'âge des glaciers par les couches qui résultent de la chute annuelle des neiges dans les hautes régions. C'est ainsi qu'il a calculé qu'en moins de deux siècles toute la masse de glace et de neige dont se compose le glacier de l'Aar, qui est un des plus grands de la Suisse, puisque sa longueur est au moins de 8 kilomètres, se sera écoulée avec tous ses affluents, et aura été remplacée par les neiges qui tomberont d'ici là dans la partie supérieure de la vallée de Hasli. Il pense qu'en poursuivant ces considérations et en les combinant avec les observations que l'on pourra faire sur l'épaisseur des glaciers, on arrivera peu à peu à des données approximatives sur la quantité de neige qui tombe annuellement dans les Alpes. On peut déjà, dit-il, s'en faire une idée en se rappelant que le glacier de l'Aar a au moins 227 mètres d'épaisseur du côté du Finsteraar.[2]

---

1 Forbes, Bibl. univers.; nouv. série, 9.e année, mars 1844, page 140.

2 Compte rendu de l'Académie des sciences; t. XXI, p. 680.

Cette progression, comparativement rapide, n'est plus la même pour les glaciers du nord. M. Martins, qui les a étudiés avec soin, donne, pour expliquer leur mouvement, une théorie analogue à celle de la dilatation, et ne regarde leur avancement comme possible qu'en été. Voici du reste ses propres expressions :

« En été, d'immenses crevasses transversales par- « tagent verticalement la masse entière du glacier en « autant de masses cunéiformes secondaires; par con- « séquent sa surface est augmentée de la somme de « tous les intervalles que ces crevasses laissent entre « elles à leur partie supérieure. Le glacier étant adossé « solidement contre les montagnes, ne saurait reculer; « c'est la partie inférieure, que rien n'arrête, qui se « trouve déplacée et poussée en avant. L'hiver suivant « ces crevasses se remplissent de neige, que le vent y « accumule et qui tombe sous forme d'avalanches. « Cette neige passe à l'état de glace sous l'influence « des alternatives de dégel et de gelée des mois de « mai, juin, septembre et octobre; l'été suivant il se « forme de nouvelles crevasses, le glacier avance en- « core, et ainsi de suite. Cette progression n'est donc « ni un glissement ni un affaissement de la masse toute « entière difficile à comprendre, puisque la masse doit « généralement adhérer au sol; mais un démembre- « ment successif suivi d'une locomotion partielle des « masses secondaires. »[1]

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XI, p. 294.

M. E. Robert n'attribue pas à la même cause que M. Martins le déplacement des glaciers du Spitzberg. Depuis un temps considérable ces glaciers, selon lui, « paraissent stationnaires; ce sont plutôt des gorges « qui se remplissent de neige, que le tassement et un « dégel incomplet convertissent en glace plus ou moins « compacte; aussi ces glaciers croissent-ils, pour ainsi « dire, dans toute leur longueur, tandis que ceux de « la Suisse descendent évidemment du sommet des « montagnes jusqu'au milieu des prairies.»[1]

Des observations précises, que malheureusement il est presque impossible de faire sous des latitudes aussi élevées, sur la marche comparée des glaciers du nord avec ceux de la Suisse, offriraient le plus grand intérêt.

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XI, p. 300.

CHAPITRE VIII.

DE LA FUSION DES GLACIERS.

On a cru longtemps que les glaciers fondaient à leur partie inférieure, sur laquelle ils glissaient en même temps, et qu'ils se chargeaient par-dessus à mesure que la fusion s'opérait à leur base; mais on sait maintenant que leur accroissement a lieu au moyen de couches ou larges écailles, qui proviennent du nevé, et qui s'appliquent successivement contre les écailles précédemment formées, en sorte que l'apparition ou même la saillie de ces zones permet, pour ainsi dire, de compter l'âge du glacier.

Quant à la fusion due à la chaleur terrestre, M. E. de Beaumont a calculé qu'à Paris le calorique émis par le sol suffirait à fondre seulement 6½ millimètres de glace chaque année, de sorte, qu'en admettant même que cette quantité pût être un peu plus considérable sous le glacier, elle serait loin d'égaler celle qui serait nécessaire pour alimenter les torrents d'eau qui s'en échappent.[1]

---

1 Merian, Sur la théorie des glaciers. Bibl. univers.; nouv. série, 8.ᵉ année, août 1842, page 331.

Il faut donc chercher d'autres causes à la fusion, et il en existe en effet de très-appréciables.

D'abord, la fonte inférieure est très-souvent augmentée par des sources qui sortent du terrain où le glacier est encaissé, et par une foule de filets d'eau qui proviennent de la surface et dont la température, un peu supérieure à zéro, est rarement à cet état après avoir traversé le glacier.

M. Forbes attribue principalement à la fusion inférieure l'affaissement qui a lieu en été dans les glaciers, et qu'il compare à une sorte d'épuisement cadavérique.[1]

L'abaissement de la mer de glace, selon lui, « a été « de 24 pieds ½ du 30 juin au 16 septembre, à raison « d'environ 4 pouces par jour vers la première époque « et de 2½ vers la dernière. »

« Les conditions de la fonte des glaciers existent lors-« que la température de l'air ambiant ou du sol sur « lequel ils reposent s'élève au-dessus de zéro; la sur-« face du glacier devient alors humide, et pour peu « que cet état de choses continue, l'on voit de toutes « parts se former de petits filets d'eau qui ruissèlent « dans tous les sens à la surface du glacier, le long « de ses crevasses et sur les pans de la face inférieure, « de nombreuses gouttières qui en suivent toutes les « sinuosités et vont grossir le torrent qui coule sous

1 Bibliothèque de Genève; décembre 1842, page 356.

« sa base. J'ai mesuré, dit M. Agassiz, sur plusieurs « glaciers la température de ces petits filets d'eau, et je « l'ai invariablement trouvée à zéro, quelle que fût la « température extérieure; j'ai même répété cette obser- « vation pendant plusieurs années consécutives et plu- « sieurs fois par jour sur plusieurs glaciers de la vallée « de Chamouni, sur ceux de Brient, de l'Aar, d'Aletsch, « de Zermatt, de Saint-Théodule, sans remarquer ja- « mais la moindre différence entre eux aussi longtemps « qu'ils ruisselaient sur de la glace pure; mais dès qu'ils « viennent à serpenter sur des lits de gravier, leur tem- « pérature s'élève et varie de + 0.1 jusqu'à + 0.7. »[1]

On doit à cette action de l'eau, combinée sans doute aussi à celle de l'air, la disparition de la surface du glacier, dont on s'aperçoit très-bien par les tables de pierre qui, agissant comme un préservatif contre l'action de l'air et du soleil, restent élevées sur des piliers de glace, comme pour attester la diminution que la surface a éprouvée auprès d'elles. M. Agassiz a donné à cet enlèvement de la surface le nom d'*ablation*. Elle est parfois considérable. Ainsi, les pieux plantés à $1^{m},33$ de profondeur sur le glacier d'Aletsch, par M. Escher de la Linth, étaient tous renversés au bout de deux mois. Le glacier aurait-il diminué de $1^{m},33$ dans cet espace de temps, ou le retrait aurait-il chassé ces pieux hors de la glace?

---

1 Agassiz, Études sur les glaciers, page 205.

M. Desor suppose qu'en moyenne et sur certains glaciers, l'abaissement peut être de $3^{m},33$.

« La partie centrale du glacier, c'est-à-dire, celle « qui marche le plus vite, est aussi celle qui subit l'ab- « lation la plus considérable. L'ablation est moins abon- « dante par les jours de pluie, et elle est très-faible « ou presque nulle les jours brumeux ou lorsque la « surface du glacier est couverte de neige; enfin, elle « n'est sensible de nuit que par la pluie. »[1]

L'ablation superficielle est donc un résultat de la chaleur, et le glacier, s'amaigrissant toujours à mesure qu'il descend, perdant pendant tout son trajet une partie de la neige ou de la glace qu'il a été puiser dans les régions supérieures, arrive enfin à un point si bas que la chaleur moyenne de l'année, mais surtout celle de l'été, fait équilibre à la quantité de glace qui lui reste à fondre, et alors il ne va pas plus loin.

« Ce n'est, dit M. Angelot, qu'en empruntant à des « vallées inférieures la chaleur qui leur manque dans « des régions plus élevées, soit en prolongeant leurs « bras dans ces vallées, soit en y roulant de nombreuses « avalanches, soit en leur abandonnant les neiges em- « portées par les vents, que les glaciers, soit de glace, « soit de neige, se maintiennent à peu près dans les « mêmes proportions : la glace et la neige viennent en « partie fondre là où elles n'ont pas été formées. Il en

1 Desor, Bibl. univ.; 2.e série, 8.e année, mai 1843, p. 140.

« faut donc bien conclure qu'apparemment il s'en « forme annuellement dans les régions élevées beau- « coup plus qu'il n'y en fond; autrement, les glaces « devraient diminuer dans des proportions assez ra- « pides, ce qui n'est pas. »[1]

Il est bien certain que si les montagnes envoient fondre leurs neiges dans les vallées, la neige ne peut remonter sur les montagnes que par l'évaporation, qui vient y condenser l'eau à l'état solide, et plus cette évaporation et, par suite, la condensation seront actives, plus grandes seront les quantités de neige que les montagnes enverront fondre sur leurs plans inclinés. Mais il faut pour cela qu'une certaine chaleur favorise l'écoulement de la neige dans les vallées, sous forme de glaciers, température qui, comme on vient de le voir, est aussi nécessaire pour les former. Or, quand la température s'abaisse, les hautes cimes se couvrent de neiges qui s'y accumulent; mais si ensuite une chaleur plus grande ne vient pas frapper les champs de neige, les ramollir, les affaisser, et, par suite, les transformer en glacier, ils restent à l'état de nevé et recouvrent les montagnes sans descendre dans la plaine.

Il est même très-possible que certains passages des Alpes, anciennement praticables pendant l'été et qui ne le sont plus de nos jours, ne doivent ce changement

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XII, p. 115.

d'état qu'à ce que la chaleur, autrefois suffisante pour affaisser leurs neiges, malgré leur plus grande abondance, n'est plus assez forte maintenant pour opérer cette transformation, et quoiqu'il en tombe moins, leur immobilité bouche des cols qui pouvaient, sous une température plus élevée, laisser un passage libre pendant une partie de l'été. Ce fait prouverait un changement dans le climat, mais non l'accroissement actuel ou futur des glaciers. M. Agassiz a donné déjà de ce phénomène une explication analogue.

De quelque manière que nous arrivent les neiges pendant l'hiver, toujours est-il qu'elles se forment dans de hautes régions, au milieu desquelles l'eau abandonne du calorique et se solidifie, et une fois déposées sur le sol, elles ne peuvent en disparaître qu'en absorbant une énorme quantité de chaleur; c'est-à-dire, que 1 kilogramme de glace, pour se changer en 1 kilogramme d'eau à 0 seulement, prendrait toute la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 kilogramme d'eau de 0 jusqu'à 79°.1 de température. C'est donc une énorme quantité de calorique qui devient latente, et qui sert seulement à faire passer l'eau de l'état solide à l'état liquide. Or, la chaleur destinée à opérer ce changement, nous vient du soleil avec la lumière, et lors même que la quantité qui en émane aujourd'hui, proportionnellement à chaque climat, viendrait à être augmentée, il faudrait encore que cette chaleur, pour fondre la neige, puisse être absorbée,

ce qui n'a pas lieu; et cela est si vrai, que les années où nous avons les froids les plus rigoureux, sont celles où précisément nous avons le plus de neige, et la neige n'est pas la conséquence d'un abaissement de température, mais la cause nécessaire du froid qui lui succède.

Si la neige était noire ou fortement colorée, les rayons solaires agiraient immédiatement sur elle; car à Chamouni et dans quelques vallées des Alpes, où l'on est avec raison pressé d'ensemencer le sol, on fait fondre la neige en y semant de la terre noire; mais avec sa blancheur éclatante elle réfléchit les rayons du soleil et ne fond presque pas; aussi l'alimentation des glaciers dépend de la quantité de neige qui tombe, et leur fonte, quoique influencée d'une manière très-évidente par la chaleur, ne l'est pas selon la proportion de l'intensité de cette température.

Le capitaine Scoresby, dans son ouvrage sur les régions arctiques, fait remarquer que « lorsque les « rayons du soleil tombent sur des glaces ou sur des « terres couvertes de neige, ils sont en grande partie « réfléchis, et ne donnent lieu, par conséquent, à « aucune élévation sensible de température, tandis que « lorsqu'ils frappent sur la face extérieure d'un vais- « seau, qui ordinairement est noircie, il arrive par- « fois que le goudron fond sur un des flancs du bâti- « ment, tandis que la glace se forme sur l'autre. »[1]

---

1 Scoresby, *Arctic. regions;* tome I, page 378.

Les rayons solaires perdent aussi une très-grande partie de leur force avant d'arriver même à la surface des glaciers qu'ils doivent fondre, où cette perte est d'autant plus grande qu'ils arrivent plus obliquement.

Les expériences de M. Forbes, faites avec M. Kæmtz sur le Faulhorn en 1832, avec deux actinomètres, lui ont donné $\frac{29}{100}$ pour la perte qu'éprouve la chaleur solaire incidente, en traversant verticalement l'atmosphère par un temps clair au niveau de la mer. Cette perte est bien plus grande sous une inclinaison oblique, à cause de la plus grande épaisseur de la couche atmosphérique; en ne l'estimant qu'à ¼ dans la direction verticale, elle devient de moitié sous un angle de hauteur de 25°, et la force des rayons solaires est réduite à $\frac{1}{20}$ sous un angle de hauteur de 5°.[1]

Que l'on ajoute à cela qu'une portion des rayons qui arrivent est réfléchie, comme nous l'avons dit; que la glace absorbe 79°. 1 de chaleur pour se fondre, et l'on restera convaincu qu'une augmentation dans l'alimentation du glacier aura bien plus d'influence sur son extension qu'une élévation de température pour sa fusion.

Ces conséquences se déduisent tout naturellement des observations suivantes faites sur le lac de Genève.

Ce lac, en grande partie alimenté par le Rhône,

---

1 Rapport sur les progrès de la météorologie, par Forbes; Bibliothèque de Genève, octobre 1841, page 345.

peut être considéré comme un réservoir d'eau provenant de la fonte des glaciers; il devrait donc présenter ses plus hautes eaux dans les années les plus chaudes, si la chaleur était une cause de diminution ou de retrait des glaciers. Or, si on consulte les tables et les observations publiées par le colonel Dufour[1], on voit que c'est en 1832, année très-sèche et très-chaude, que le lac a atteint sa plus petite élévation : « il n'a pas « dépassé 56 pouces au-dessus de 0 du limnimètre, et « en 1835, année également chaude et peu humide, il « n'a été qu'à 61 pouces. En 1816, au contraire, année « très-froide, pendant laquelle les glaciers n'auraient pas « dû fondre, les eaux ont été à 99 pouces, et en 1817, « c'est-à-dire, l'année suivante, la fonte d'une partie des « neiges ou des glaces, formées en abondance dans l'an- « née précédente, a élevé l'eau à 100 pouces, hauteur « qu'elle n'avait jamais atteint. Car, de 1806 à 1843, « le limnimètre n'avait jamais donné pour les hautes « eaux un chiffre supérieur à 88 pouces. »

La chaleur de l'année serait bien le seul élément à considérer dans la fonte des glaces, si l'alimentation des glaciers était exactement la même tous les ans; mais cette cause s'affaiblit beaucoup, quand on la com-

---

1 Mémoire sur les hautes eaux du lac Léman, par le colonel Dufour, ingénieur cantonal; lu à la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève, le 21 décembre 1840. Bibl. univ., nouv. série, 9.e année, avril 1844, page 322.

pare aux inégalités d'alimentation. C'est la quantité des neiges qui tombe, bien moins que la température appliquée à la fusion, qui détermine l'extension des glaciers.

L'alimentation peut avoir lieu en tout temps, l'été, l'hiver, la nuit et le jour; la fusion ne s'opère qu'en été et dans le jour seulement.

La température des torrents qui sortent des glaciers est en général de + 1,2 à 2,5 centigrades; elle va quelquefois, mais rarement, à + 5°; les torrents sont très-enflés à la fin du jour, surtout à quatre heures, et presque à sec pendant la nuit.

Ces faits ont été très-bien observés sur l'Arve par le D.r Herpin.

Le maximum d'eau part des glaciers à quatre heures du soir et arrive près de Genève à neuf ou dix heures du matin; si le minimum, parti à quatre heures du matin, arrive à dix ou onze heures du soir, le trajet se fait en moyenne, en été, par un temps sec, en 18 heures. En évaluant la longueur du cours d'eau de l'Arve à 105 kilomètres, on trouve pour vitesse $1^{m},62$ par seconde.[1]

Le minimum de température et le maximum de hauteur s'observent vers les neuf ou dix heures du matin, et persistent pendant quelque temps. Le maxi-

---

1 Des bains de l'Arve dans le canton de Genève, par le D.r Herpin. Bibl. univ. de Genève; 2.e série, 8.e année, p. 142.

mum de température et le minimum de hauteur arrivent vers les dix à onze heures du soir, et l'eau reste encore quelque temps dans les limites.

Le minimum de température est entre 11,2 à 12,5 centigrades, le maximum entre 16,2 et 17,5.[1]

Nous aurons occasion de revenir souvent sur ces phénomènes d'alimentation et de fusion des glaciers, en étudiant la grande question de leur ancienne extension.

---

1 Des bains de l'Arve dans le canton de Genève, par le D.r Herpin. Bibl. univ.; 2.e série, 8.e année, page 134.

CHAPITRE IX.

DES MORAINES ET DE L'ANCIENNE EXTENSION DES GLACIERS.

Un fleuve solide et pouvant se mouvoir lentement comme un glacier, doit agir sur les parois qui l'encaissent avec une force très-considérable; aussi, les glaciers usent, polissent, rayent leur lit dans presque toute leur étendue. Ils peuvent, au moyen du frottement qu'ils exercent sur le fond et sur les côtés, arracher des fragments saillants, détruire leurs angles et entraîner, en même temps, une certaine quantité de sables fins, de graviers, au moyen desquels ils polissent et rayent des roches que la glace pure ne saurait attaquer.

Les glaciers prennent souvent naissance dans des lieux élevés, à la base des grandes aiguilles qui s'élancent comme des obélisques dans presque toutes les chaînes de montagnes, et, occupant par leurs nevés des cirques parfois très-étendus, ils doivent recevoir aussi tous les débris qui se détachent des lieux voisins plus élevés qu'eux, tous les fragments que les alternatives de gel et de dégel séparent des masses de rochers, tous les blocs que les nombreuses avalanches précipitent avec fracas à leur surface.

Tout concourt donc à charger le glacier par-dessus pendant son trajet, depuis le nevé jusqu'au point où il vient s'arrêter, et pendant qu'il transporte à sa partie supérieure des fragments qui ne reçoivent pas la moindre atteinte, il broie au contraire et pulvérise, ou arrondit au moins, ceux sur lesquels il appuie de tout son poids.

Une vallée remplie par un glacier ne peut donc pas se combler, puisque le fleuve congelé emporte les impuretés à mesure qu'elles viennent toucher la glace.

Mais il arrive une station où le glacier, comme nous l'avons vu, s'est aminci, a perdu une partie de sa substance, et est descendu dans un point si bas et, par conséquent, si chaud de la vallée, que, n'ayant plus assez de matière pour résister à la chaleur, il s'arrête, puisqu'il ne fournit juste que les quantités de glace nécessaire à la fusion. Alors tous les matériaux entraînés se déposent sur ce point et forment ce qu'on appelle la *moraine du glacier*.

L'effet de la moraine est donc de réunir en une bande ou amas transversal ou oblique à la vallée, tous les débris qui, sans la présence du glacier, eussent été éparpillés sur le sol dans toute son étendue, ou repris par les torrents dans le fond seulement, et roulés ou usés par les eaux.

La moraine est formée de morceaux de roches quelquefois très-volumineux, conservant tous leurs angles, puisqu'ils n'ont éprouvé ni frottement ni usure,

et qui se sont déposés lentement les uns sur les autres, à mesure que la glace qui les portait s'est fondue.

Dans le nombre se montrent aussi des fragments de toutes les grosseurs, dont plusieurs sont arrondis, et d'ailleurs on trouve aussi dans la moraine de véritables galets qui souvent proviennent d'un terrain antérieur; puis on y rencontre du gravier, des sables, des troncs d'arbres, des masses de terres gazonnées, enfin, tout ce qui a pu tomber sur le glacier et tout ce qu'il a rencontré dans sa marche.

Ces collines transversales qui signalent l'extrémité des glaciers, offrent nécessairement la collection de toutes les roches qui existent dans la vallée, et comme fréquemment les moraines descendent et s'arrêtent entre des montagnes dont la nature n'est plus la même que celles qui encaissent le nevé et la partie haute du glacier, on trouve superposées des roches que le transport seul a pu réunir. Il existe aussi, dans le sens de la longueur du courant et sur ses deux bords, deux moraines latérales, composées de fragments qui se détachent des cimes plus élevées, et dont la nature peut être différente de chaque côté, si les deux versants du lit de glacier ne sont pas géologiquement identiques. Quelquefois même il y a plusieurs moraines latérales rapprochées du bord et parallèles, ou bien, si deux glaciers viennent à se réunir en un seul, les deux moraines latérales, celle de droite de l'un et celle de gauche de l'autre, se confondent en une

seule qui occupe à peu près le milieu et que l'on appelle *moraine médiane*. On les voit ainsi cheminer ensemble sur un long espace, en conservant chacune leur composition particulière, si les deux glaciers ont conduit des roches minéralogiquement distinctes. Le glacier, cerné de cette manière par une moraine qui le touche de trois côtés, mais dont la masse principale est à sa base, laisserait donc une preuve évidente de son séjour, lors même que venant à fondre instantanément, il disparaîtrait complétement. Dans cette circonstance, le fond de la vallée serait libre, uni, poli, dégagé des débris, fermé par une digue de matériaux divers, et resterait ainsi pendant un certain temps; mais la dégradation continuant toujours dans les montagnes, on verrait bientôt de nouveaux fragments épars dans la vallée d'une manière irrégulière, les cours d'eau, mis à nu, en entraîneraient une partie, et enfin, la moraine frontale pourrait se transformer en une digue qui, momentanément, ferait obstacle aux eaux jusqu'à ce qu'elles l'aient usée ou détruite en partie. Malgré ces modifications ultérieures, on reconnaîtrait toujours la position des anciennes moraines démantelées, et l'existence du glacier ne serait pas douteuse.

Nous avons supposé jusqu'ici le glacier sans oscillations, sa moraine en un point déterminé et invariable; voyons maintenant ce qui arriverait si des variations dans l'alimentation du haut nevé faisaient sentir leur influence à l'extrémité inférieure, et don-

naient à la masse congelée un mouvement direct ou rétrograde.

Dans le premier cas, si le glacier s'avance, il pousse devant lui sa moraine tout entière, qui s'augmente alors de tous les débris qui sont au delà, soit qu'ils aient été déposés par l'eau, soit qu'ils aient été fournis par les hauteurs voisines, soit même qu'ils aient été entraînés par des causes quelconques de la moraine même du glacier. L'extension n'a donc d'autre effet que de grossir et de compliquer la moraine. Il en résulte que, si le développement du glacier a été progressif et, s'il a déposé successivement plusieurs moraines en s'éloignant de son point de naissance, il ne peut laisser d'autre trace que la limite de son extrême extension, puisque ces diverses moraines, toujours poussées en avant, se sont confondues en une seule.

Si le mouvement est rétrograde, la moraine ayant plus de densité que la glace, ne peut se retirer avec elle, pas plus que le flotteur d'un thermomètre *à maxima* ne recule avec le liquide qui se contracte; la moraine reste comme un immense flotteur pour marquer, comme dans le thermomètre, la plus grande extension du glacier, et peut-être aussi le plus grand degré de chaleur.

Si le retrait de la glace est rapide, le terrain erratique reste en deçà de la moraine éparpillé sur le sol, et si, par des causes quelconques, le glacier éprouve

un temps d'arrêt, ou n'oscille que dans des limites très-étroites, il se forme une seconde moraine en dedans de la première, et séparée par un intervalle plus ou moins grand, couvert de fragments éparpillés. Si le glacier se retire encore, même résultat et nouvelle moraine, s'il lui donne le temps d'en former.

Enfin il se pourrait, si des causes puissantes forçaient un glacier à disparaître tout à fait, qu'il laissât pour preuves certaines de son séjour, une série de moraines concentriques, dont la plus éloignée serait la plus ancienne, et la plus rapprochée du haut de la vallée la plus nouvelle, ou bien si le retrait était presque égal, un sol jonché de débris erratiques éparpillés et non réunis en moraine.

Pour reconnaître, après de longues périodes, un sol abandonné par la glace, il faudrait certainement tenir compte des actions lentes mais continues, que le temps, aidé des pluies, des gelées, de l'eau et l'atmosphère même, exercent sur tous les corps, et, sans en exagérer ni atténuer les effets, chercher surtout à distinguer par leur conservation et la vivacité de leurs arêtes, les blocs qui ont été transportés, des masses arrondies et roulées qui ont été poussées tumultueusement par les eaux.

L'étude des glaciers et des vallées qui les contiennent, démontre qu'ils ont éprouvé depuis les temps historiques des oscillations plus ou moins étendues, et dans certaines années, on voit les mo-

raines changer de place, avancer, et ensuite être abandonnées pour longtemps. On cite dans les Alpes de très-nombreux exemples de ces ondulations.

M. Venetz nous apprend qu'en 1811 les glaciers s'étaient retirés très-haut dans les vallées, mais que les années froides de 1815, 1816 et 1817 ayant rechargé les montagnes d'une masse de neige énorme, les glaciers descendirent considérablement dans les régions inférieures. Il assure avoir vu le glacier de Distel, dans la vallée de Saas près de Mont-Moro, descendre de plus de 50 pieds dans une année. Zumstein rapporte qu'il vit à peu près à la même époque le grand glacier de Lys s'avancer de 150 toises pendant six ans.[1]

M. Durocher parle de glaciers en Norwège, qui sont aujourd'hui en voie rétrograde, et qui ont laissé à nu, sur une longueur de 600 à 700 mètres, des espaces qu'ils ont recouverts à des époques historiques.[2]

M. Venetz cite encore le passage par les glaciers de Ferpècle et de Zmutt, pour se rendre à Zermatt, comme ayant été autrefois très-fréquenté et comme étant devenu très-dangereux par l'augmentation des glaciers.

Le passage de Mont-Moro entre le grand Saint-

1 Agassiz, Études sur les glaciers, page 234.

2 Durocher, Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXII, page 122.



Bernard et le Simplon était autrefois praticable pour les mulets, tandis qu'il ne l'est plus aujourd'hui.

Nous avons déjà donné une explication relativement à ces anciens passages qui sont fermés maintenant, parce que la température actuelle n'est pas assez élevée pour abaisser les neiges qui y tombent et les transformer en glaciers. Toutefois nous n'attachons pas grande importance aux oscillations des temps historiques, dont la durée, comparée à la longue période des terrains de transport, est à peu près insignifiante et peut rentrer dans ces petites variations, qui affectent très-sensiblement notre courte existence, mais qui ne peuvent masquer des phénomènes séculaires, ni empêcher de grandes inégalités.

L'extension des moraines et par suite des glaciers aux époques anté-historiques, est un fait que l'on ne peut plus révoquer en doute aujourd'hui, et s'il existe à cet égard des dissidences d'opinions entre les géologues, ce n'est que du plus au moins; tous reconnaissent que les moyens de transport actuels sont insuffisants pour expliquer la création des terrains alluviens, tous admettent qu'il a fallu des circonstances différentes de celles qui existent de nos jours, pour transporter une si grande quantité de matériaux; mais ils attribuent, selon leurs opinions respectives, une part très-différente à l'eau liquide et à la glace. Ils accordent le concours simultané de ce même corps sous ces deux états, et invoquent de grandes actions

plutoniques et des transports violents pour expliquer le phénomène erratique des hautes montagnes et des régions polaires. Les plus timides admettent une légère extension des glaciers actuels; d'autres reconnaissent qu'ils ont été réellement plus étendus; M. Venetz et M. de Charpentier pensent que ceux des Alpes sont allés s'appliquer sur les pentes du Jura; plusieurs géologues ont reconnu leur existence dans des lieux où les montagnes les plus élevées ne conservent plus de neiges éternelles, et M. Agassiz veut qu'une calotte de glace ait couvert toute la terre à une époque qu'il appelle *frigorifique*. Partisan de l'extension limitée due à des causes atmosphériques et à une température anciennement plus élevée, cherchons quelles sont les preuves que nous avons à notre disposition, examinons un certain nombre de faits et voyons si notre nouvelle théorie qui est loin d'être exclusive, peut s'y appliquer avec quelque chance de vérité.

Deux forces opposées et souvent inégales concourent à l'extension, au retrait ou à la stabilité des glaciers. Ces deux forces agissent en sens contraire; l'une alimente le glacier par en haut, et le fait avancer dans le sens de sa pente; l'autre agissant de bas en haut et principalement à l'extrémité inférieure, fond la glace à mesure qu'elle descend.

Si la quantité annuelle de neige qui tombe est dans un certain rapport avec la température des vallées, où le courant la transporte, on conçoit que le glacier

puisse rester stationnaire, puisqu'il perd autant par la base qu'il reçoit par le haut. Dans la plupart des glaciers, ces conditions ne peuvent pas être tellement égales qu'il n'y ait des oscillations annuelles ou à courtes périodes.

Si ces deux conditions de température à la base et d'alimentation au sommet sont inégales, le glacier pourra s'avancer ou reculer selon la prédominance de l'une ou de l'autre; mais l'alimentation est une cause plus active et plus importante que la température. On peut comparer un glacier à un thermomètre, dont le nevé ou plutôt le cirque, qui reçoit toutes les neiges annuelles, serait la boule, et le glacier proprement dit la colonne.

Quand les causes qui dilatent le liquide contenu dans la boule d'un thermomètre sont actives, quand la boule est grosse et volumineuse, le tube étroit, la marche de la colonne est rapide. L'inverse a lieu si ces conditions sont contraires.

Quelque singulière que paraisse la comparaison, les glaciers agissent à peu près de même, et ceux qui sont alimentés par de vastes nevés, par d'immenses champs de neige, comme ceux du Mont-Blanc et ceux du groupe de la Jungfrau, avancent et reculent quelquefois très-vite. On en a des exemples très-remarquables dans le Glacier-des-Bois et celui des Bossons, dans le glacier supérieur du Grindelwald, etc. On sait que dans ce siècle même ces longues traînées de

glace ont eu des mouvements très-remarquables, oscillations qui ont moins tenu à la température de l'été qu'à la masse de neige qui était tombée pendant les hivers sur leurs nevés. Nous n'affirmerons pas que la chaleur est la seule cause de l'extension plus ou moins rapide d'un glacier, mais elle y contribue certainement, non peut-être par dilatation comme celle qui agit sur la boule d'un thermomètre, mais par une alimentation plus forte des glaciers aux dépens du nevé, et une plus grande mobilité de la glace déterminée par une température plus élevée.

Cherchons maintenant, en diverses contrées, les preuves de l'ancienne extension des glaciers, et commençons par les Alpes, où tous les caractères du terrain de transport, à quelque cause qu'il appartienne, ont été mieux étudiés qu'ailleurs.

Les Alpes ont ensuite l'avantage d'une immense échelle verticale, de longues vallées diversement exposées. Elles atteignent une grande élévation et sont situées vers le milieu de la distance qui sépare le pôle de l'équateur. Elles réunissent toutes les conditions nécessaires pour ces attrayantes recherches.

CHAPITRE X.

DES CARACTÈRES DU TERRAIN ERRATIQUE ALPIN. — LES STRIES ET LES BLOCS ERRATIQUES.

Le terrain erratique, souvent très-difficile à séparer du terrain diluvien, est très-étendu dans les Alpes et se présente avec des caractères assez problématiques, pour qu'un certain nombre de géologues lui refusent une origine glaciaire.

Il serait difficile de ne pas admettre, comme provenant de la disparition d'anciens glaciers, de nombreuses moraines qui existent dans des vallées où elles sont aujourd'hui très-éloignées de leur point de départ, et où les glaces sont reléguées à de grandes distances, comme par exemple dans la vallée du Rhône; mais une certaine indécision règne encore au sujet des stries et du poli que l'on remarque sur des rochers situés hors de l'atteinte des glaciers actuels. La même incertitude existe pour les blocs erratiques dispersés, et rayonnant tout autour des Alpes et déposés postérieurement à l'ancien terrain diluvien. On peut dire cependant que les roches striées par d'anciens glaciers qui ont disparu et ne peuvent plus exister maintenant, constituent un fait reçu des géologues. On pourrait en être persuadé après tous les

exemples cités par M. Agassiz et par M. Desor; mais il devient encore bien plus certain pour les savants, quand un homme comme M. Studer, primitivement opposé à cette idée de l'ancienne extension des glaciers qu'il n'adopte peut-être pas encore aujourd'hui, vient nous dire qu'il a reconnu ces roches striées à de grandes élévations et que les glaciers seuls peuvent les expliquer.

Voici comment il s'exprime dans la relation d'une course qu'il fit avec M. Agassiz, et où il acquit cette conviction.

« Le lendemain nous montâmes sur la crête du « Riffel, qui domine la partie supérieure du glacier « de Gorneren. Dans la continuation de son bord « droit, on se trouve là élevé d'environ 500 pieds « au-dessus de la surface, et séparé de lui par une « pente très-escarpée et une partie coupée à pic. La « roche dominante de la crête est une serpentine im- « parfaitement schisteuse. La hauteur à laquelle on « se trouve au-dessus du glacier, ne permet pas de « supposer que jamais, depuis le commencement de « l'époque actuelle, le glacier se soit élevé jusqu'ici; « et cependant nous vîmes la surface des roches de « serpentine polie comme un miroir et couverte de « sillons et de stries à peu près horizontaux et d'une « nature absolument semblable à ceux en contact avec « le glacier même. La supposition de courants chargés « de pierres, auxquels on pourrait attribuer cet état « de la surface, est de même rendue très-peu probable

« par l'isolement de la crête entre deux vallées de glace « très-profondes, et par la proximité des sommités de « tous ces groupes de montagnes. »

M. Studer trouve que l'observation d'un grand nombre de faits de ce genre, non-seulement dans les Alpes, mais en Suède, en Angleterre, etc., donnent une grande force à la théorie qui admet l'ancienne extension des glaciers, théorie qui permet de résoudre avec facilité quelques-unes des questions les plus épineuses de l'époque diluvienne. « Mais en même temps, « ajoute M. Studer, on ne doit pas se cacher qu'en « approuvant l'explication donnée de ces faits, nous « nous mettons en opposition avec les notions en « apparence les mieux établies sur la vie animale et « végétale, avant et pendant la période diluvienne, « et avec tout ce que la physique et l'astronomie nous « ont appris sur les lois qui régissent la température « de notre climat et du globe terrestre en général. »[1]

Nous ne partageons pas à cet égard l'opinion de M. Studer, et nous espérons concilier ses observations avec la théorie justement accréditée de la chaleur centrale et de l'abaissement progressif de la température, depuis les temps anciens jusqu'à nos jours.

MM. Forbes et Carrel ont vu très-distinctement au glacier de la Brenva le contact de la glace et du cal-

---

1 Bulletin de la Société géolog. de France; tome XI, p. 50 et 51.

caire, et ils ont reconnu des stries et un poli semblables à ce que l'on a observé souvent sur des roches que l'on considère comme ayant été toujours inaccessibles aux glaciers.

Les glaciers rayent et polissent leur fond avec une couche de gravier qui atteint souvent plus de 0,m33 d'épaisseur, et qui, l'hiver, est complétement gelée et adhérente sur ce fond.[1]

M. Renoir n'hésite pas non plus à considérer les stries comme un phénomène glaciaire. « Il est impos« sible de ne pas reconnaître, avec les savants qui « l'ont observé les premiers, que les surfaces sont d'au« tant plus polies et les stries d'autant mieux conser« vées qu'elles sont plus rapprochées des glaciers; ce « qui semble prouver qu'elles ont été abandonnées par « ces derniers plus récemment que celles des parties « basses des vallées, et ce qui est encore l'inverse de « ce qui serait arrivé dans l'hypothèse des courants. »[2]

M. Agassiz a remarqué qu'il existait une limite constante des roches polies. « A aucune époque, la grande « masse des glaces compactes ne s'est élevée dans les « Alpes centrales à un niveau supérieur à celui de « 2800 mètres, qui est à la fois la zone actuelle des « nevés et la limite extrême des roches polies; c'est-à-

1 Desor, Bibl. de Genève; avril 1842, page 385.

2 Renoir, Bulletin de la Société géolog. de France; t. XI, page 55.

« dire, qu'elle n'aurait été, dans ces localités, que de « quelques centaines de pieds plus élevée que de nos « jours. »

« Ce résultat, dit M. Desor, n'est nullement en opposition avec la théorie de M. Agassiz, qui suppose « qu'à la fin de l'époque diluvienne toute la surface « de l'Europe a été enveloppée d'un manteau de glace; « il n'a jamais prétendu que les glaces compactes se « fussent jamais élevées à un niveau bien supérieur à « celui qu'elles atteignent de nos jours. C'est dans la « direction horizontale qu'il leur assigne une immense « étendue. »[1]

Il paraîtrait cependant que M. Desor en aurait trouvé de plus élevées, comme on peut le voir par le passage suivant :

« La limite du phénomène erratique dans le Jura « est de 1170 mètres.

« La limite extrême des roches polies sur le Schreckhorn est à 2924 mètres.

« La distance du Schreckhorn au Jura, le long du « cours de l'Aar, est de 96 000 mètres; en supposant « une pente uniforme du Schreckhorn au Siedelhorn, « nous avons, pour la distance de ces deux points, « 16 000 mètres et un abaissement de 292 mètres. « D'après cela, la limite des roches polies au Siedelhorn devrait être à 2632 mètres, c'est-à-dire, à

1 Desor, Bibl. univ.; avril 1841, page 393.

« 138 mètres au-dessous du sommet, et c'est précisé-
« ment ce qui a lieu. »[1]

Un grand nombre de localités offrent ces stries sur des roches supérieures aux glaciers actuels, et attestent, de la manière la plus positive, que les glaces avaient une plus grande élévation.

Ailleurs, on voit des roches entièrement polies ou *moutonnées*, dont les surfaces sont nettoyées comme si elles avaient été frottées et usées pendant longtemps. On en trouve à peu près à tous les glaciers, mais un des points les plus curieux pour leur observation est le Mont-Cenis. En suivant la route qui descend de la Grand-Croix à Suze, on arrive bientôt à un point où toutes les roches sont arrondies et comme onduleuses; on voit ce caractère se continuer au-dessus et au-dessous du point que la route traverse. Il est difficile de monter de suite et presque à pic, pour suivre en hauteur ces surfaces usées; mais, par un détour, on arrive en quelques heures, et sans perdre leurs traces, vers des sommets très-élevés, au pied desquels se trouve un lac nommé le *lac blanc*. Il était encore glacé quand nous l'avons visité à la fin de juillet 1845. Les roches usées vous conduisent jusqu'au lac, et l'on en voit un grand nombre de semblables dans le voisinage, surtout en se dirigeant vers un autre lac qui

---

1 Desor, Lettre à M. Martins, lue à la Société géologique de France; Bull., tome XIV, page 328.

se nomme le *lac noir*. Près du premier se trouve le reste d'un glacier dont la pente est très-rapide, et l'on ne peut douter, par l'inspection des lieux, que les rochers des environs et même ceux qui existent en descendant jusqu'à la route, ne doivent leur poli qu'à l'action de la glace; mais si l'on en doutait, il faudrait, après avoir rejoint la route, descendre jusqu'au village de La Ferrière. Là se trouve une énorme moraine, composée des mêmes rochers métamorphiques que l'on a vus près des lacs, et dont les masses anguleuses n'ont certainement pas été portées par des courants: leur arrangement répugne aussi à cette idée. C'est une véritable moraine qui a même arrêté les eaux et formé un petit lac très-pittoresque. La branche descendante des lacs d'en haut n'était sans doute qu'un affluent de ce grand glacier, qui devait être alimenté aussi par ceux qui descendaient des autres cimes du Mont-Cenis, où il n'en reste maintenant que des lambeaux. Cette idée n'a rien d'invraisemblable quand on considère l'étendue du cirque général et des cirques partiels qui devaient contribuer à sa formation.

Des roches polies se retrouvent au Simplon de l'un et de l'autre côté du col; elles sont arrondies, polies et striées, comme si elles avaient été exposées longtemps à l'action de corps durs; cependant, ces roches schisteuses ont toujours une tendance à montrer leurs stries dans le sens de la division de leurs feuillets, et ce caractère n'est réellement concluant que sur les calcaires.

L'examen du terrain erratique lui-même, conduit peut-être plus positivement encore à l'existence des grands glaciers anté-historiques dans toutes les Alpes.

On sait qu'il existe pour ainsi dire dans toutes les vallées, souvent à de grandes hauteurs, et aussi dans la plaine suisse et jusque sur les flancs du Jura, un terrain détritique particulier, dont le principal caractère consiste en gros blocs évidemment arrachés aux grandes vallées des Alpes, et transportés souvent très-loin, sans altération, sans que les angles aient été émoussées, sur des terrains d'origine et de nature très-différentes, où ils gisent à la surface avec d'autres débris plus petits, de grosseur très-variable, anguleux ou arrondis : on leur a donné le nom de *blocs erratiques*.

Le terrain erratique diffère du terrain diluvien en ce que la grosseur des blocs ne va pas comme dans ce dernier en diminuant, à mesure que l'on s'éloigne de leur point d'origine. La surface raboteuse et les arêtes à bords tranchants de plusieurs de ces blocs, l'absence presque régulière de triage selon le volume et de stratification, la grande hauteur à laquelle s'élèvent les dépôts, tels sont les traits saillants du terrain erratique. Les roches qui constituent les blocs dans la Suisse occidentale, se trouvent presque toutes en place dans la vallée du Rhône et les vallées latérales. Les roches les plus dures fournissent les plus grosses masses; M. de Charpentier cite plusieurs blocs de

granit ayant près de 4000 mètres et beaucoup de 1000 à 1500 mètres cubes, et, par exception, un bloc de calcaire, le plus grand connu, situé près de Bex, qui a 5963 mètres cubes; ces blocs ont tous dû parcourir une grande distance, quelques-uns jusqu'à 100 et même 240 kilomètres depuis leur lieu d'origine.

Le dépôt des blocs erratiques se présente sous trois formes différentes, tantôt *éparpillé,* en blocs dispersés çà et là, ou en blocs isolés et plus ou moins recouverts de terres ou de diluvium, c'est la forme la plus commune; tantôt *accumulé* ou réuni en digues ou monticules, offrant les mêmes modifications et la même structure que présentent les moraines; tantôt, enfin, *stratifié,* en couches courtes, épaisses, et distinguées nettement du terrain diluvien par le grand nombre de blocs anguleux qu'elles renferment.

Un fait curieux c'est la réunion des blocs d'une même espèce de roches. M. de Charpentier cite entre autres une bande de gros blocs près de Monthey, en Valais, qui a 100 à 250 mètres de largeur et 3 kilomètres de longueur, et qui est toute formée de granit à gros grains de feldspath, venant des montagnes qui bordent la vallée du Serret, à 50 kilomètres de distance; quelques-uns ont jusqu'à 2200 mètres cubes et sont fort bien conservés.[1]

Ce qu'il y a peut-être de plus remarquable dans le

---

1 De Charpentier, Bibl. de Genève, févr. 1842, page 396.

terrain erratique et dans la dispersion des blocs, c'est la régularité du phénomène.

M. A. Guyot a déterminé d'une manière rigoureuse le terrain erratique de chaque vallée des Alpes, il en a tracé les régions avec une précision remarquable, et a fait voir la part qui revient à chaque glacier dans cette immense distribution des débris alpins. Il y a quelque chose d'admirable à voir un homme interrogeant pendant plusieurs années cette immense chaîne des Alpes, demandant à chaque débris son origine, et retrouvant éparses, dans un ordre précis, toutes ces masses arrachées aux cimes élevées de ces montagnes. Il faut, pour un travail de ce genre, beaucoup de patience, beaucoup de sagacité, et la connaissance approfondie de la chaîne des Alpes que connaît si bien M. Guyot.

Le 12 août 1845, ce savant a lu à la section de géologie de la Société helvétique des sciences naturelles, un travail très-intéressant sur le terrain erratique des Alpes; il a présenté une carte sur laquelle il a marqué, par des couleurs distinctes, celui qui est propre à chaque vallée avec ses affluents. On voit d'un coup d'œil, sur cette carte, l'importance de deux immenses bassins qui de nos jours aussi sont les plus étendus des Alpes, celui du Rhône et celui du Rhin. Quelques affluents ou bassins particuliers sont bien venus s'ouvrir dans ceux-ci; mais, comme arrêtés par les alluvions de ces deux grands receptacles,

ils n'ont pas avancé et sont restés subordonnés aux autres. Dans ces deux grandes vallées, dans celle du Rhin, dont s'est principalement occupé M. Guyot dans cette séance, de nombreux affluents sont venus se joindre à l'ouverture générale et apporter tous leurs produits dans de vastes réservoirs, dans lesquels on trouve des bassins encore remplis d'eau : d'un côté les lacs de Genève, de Neufchâtel, de Morat; de l'autre, le grand lac de Constance avec ses dépendances.

Dans le bassin du Rhin, les fragments ont été entraînés à 160 kilom. de leur origine. Tous ces débris provenant de vallées diverses, qui viennent aboutir à un même point, à une même plaine pour la couvrir, ou à un même réservoir pour le combler, y sont-ils distribués sans ordre, confusément, ou bien remarque-t-on quelque chose qui rappelle un arrangement et, par conséquent, une cause régulière, continue ou périodique? Cette grande question est résolue par M. Guyot avec talent, avec conscience et après des recherches infinies.

Cet infatigable observateur a parcouru toutes les vallées alpines et a suivi partout les traces du terrain erratique, qui, prenant naissance au sommet des vallées, se maintient à une grande élévation, et vient enfin apporter les débris dans la plaine.

Il a vu que partout les produits de chaque vallée conservaient leurs rangs; que longtemps, très-loin dans la plaine, ils étaient encore alignés en longues

séries, et que, le plus souvent même, les blocs des deux versants d'une même vallée avaient fourni et conservé leurs débris respectifs. « Que conclure, dit « M. Guyot, d'un si remarquable arrangement, c'est « que ce n'est pas une cause violente, perturbatrice, « instantanée, qui a pu produire ce terrain; mais qu'il « est l'effet d'une action qui a pu agir sans désordre « et d'une manière régulière. »

Un fait très-curieux encore est signalé par M. Guyot, c'est que quelquefois le terrain erratique descendant d'une vallée, n'a pas continué sa course directement, mais s'est détourné à cause d'un obstacle qui lui barrait le passage : ce qui prouve que les vallées n'étaient pas toujours libres, et que des corps étrangers pouvaient s'y trouver; ce ne pouvait être, il semble, que des glaciers dont la fonte plus lente, ou d'autres conditions, avaient retardé le retrait.

« Dans la vallée de Lullui, dit encore M. Guyot, « la limite du dépôt erratique coupe en biais la vallée, « sans égard pour le relief du sol, et, remontant du « niveau de la rivière jusqu'au faîte de la chaîne, passe « au pied septentrional des fourches d'Habère, sans « que le fond de la vallée, qui est cependant largement « ouvert de toutes parts, présente aucune trace de « roches plutoniques. Elle suit de là le faîte des mon« tagnes extérieures qui dominent la plaine jusqu'au« dessous du couvent des Voirons; mais les blocs ne « pénètrent nulle part dans la vallée de Boëge, pas

« même par les cols, dont la hauteur est bien infé-
« rieure à celle qu'ils atteignent eux-mêmes. »[1]

M. Guyot avait déjà reconnu auparavant que dans toute la grande vallée comprise entre les Alpes et le Jura, le terrain erratique présente des régions distinctes les unes des autres, dont les roches se touchent sur de longs espaces sans se confondre, et qui correspondent chacune au bassin d'une des grandes vallées alpines qui s'ouvrent dans la plaine. Un des points les plus remarquables, étudiés par M. Guyot, est le mont de Sion, près de Genève. Là était le point de rencontre de trois grands glaciers, ceux dont le cours supérieur du Rhône, de l'Isère et de l'Arve marque aujourd'hui l'ancienne position. Il est impossible d'attribuer à des courants le classement si net de diverses roches déposées sur le grès tertiaire qui constitue cette montagne.

M. de Charpentier avait aussi remarqué que le terrain erratique était en rapport avec le nombre des affluents de chaque vallée, ainsi :

La vallée du Rhône	reçoit	32	vallées latérales.
Celle du Rhin	—	18	—
— de la Reuss	—	11	—
— de l'Arve	—	8	—
— de l'Aar	—	7	—
— de la Limmat	—	7	—
— de la Sarine	—	2	—

1 Guyot, Dispersion du terrain erratique alpin entre les Alpes et le Jura; Bibl. univ., nouv. série, 9.e année, mars 1844, p. 164.

L'étendue des terrains erratiques de ces diverses vallées suit exactement les mêmes proportions.[1]

Dans ces grands bassins hydrographiques, le glacier principal dominait tous les autres, comme les cours d'eau qui les représentent aujourd'hui; il formait un barrage devant ses tributaires qui lui amenaient les blocs erratiques de leurs vallées respectives, et au milieu de ces immenses courants de glace, celui du Rhône, supérieur à tous, se développait sur un très-grand espace, et forçait tous les autres à se réunir à la masse prodigieuse d'eau congelée qu'il transportait jusqu'au Jura.

M. Martins a communiqué dans la même réunion de précieuses observations sur les roches striées et les diverses moraines qu'il a observées avec M. Bravais, dans la vallée de Chamouni, sur les lignes ascendantes tracées sur les rochers, au point où le rétrécissement de la vallée forçait le glacier à remonter pour ainsi dire, ou du moins à exercer une pression du bas en haut pour s'échapper. Comparant ces traces à celles qu'il a trouvées sur les bords et à l'extrémité des glaciers encore existants, il en a conclu l'existence d'un grand glacier qui aurait rempli la vallée de Chamouni, et qui aurait débouché à son extrémité. Les détails précis et d'une lucidité remarquable, donnés

1 De Charpentier, Bibliothèque de Genève, février 1842, page 405.



par M. Martins, rendent indubitable l'ancienne extension des glaciers dans de certaines limites.

Aujourd'hui encore existent à l'extrémité de chaque glacier de Chamouni une moraine ultérieure et souvent plusieurs, qui successivement attestent un retrait; mais l'exemple le plus remarquable que cite M. Martins, est la moraine du glacier de Bionassey, qui s'étend beaucoup au delà du point où il s'est maintenant arrêté, mais dans laquelle il n'y a pas solution de continuité. La moraine existe, continue sur toute cette étendue, et l'extrémité la plus éloignée des glaces est entièrement liée à la moraine qui se forme encore de nos jours. Il y aurait sans doute beaucoup de ces anciennes moraines qui se rattacheraient à celles qui se déposent encore, si des lavages ultérieurs ne les avaient en partie démantelées.

Ces faits remarquables, cités par M. Martins, et que nous avions déjà observés en partie à l'issue de la vallée de Chamouni, prouvent qu'un immense glacier, réunissant plusieurs tributaires, franchissait le défilé des montées. M. Martins cite les roches polies et les blocs erratiques du côté droit de la vallée, jusqu'à la hauteur de 758 mètres au-dessus du pont Pélissier, et à gauche près du col de la Forclaz, à 683 mètres. « Ces « deux points, dit M. Martins, sont séparés par une « distance horizontale de 4 kilomètres au moins. Le « glacier avait donc une lieue de large en ce point, et « sa puissance moyenne était de 720 mètres au moins;

« car, dans ce genre de mesures, on n'a jamais la « certitude d'avoir suspendu le baromètre précisément « au-dessus de la dernière roche polie ou auprès du « dernier bloc erratique. »[1]

Ces observations témoignent de la masse énorme d'eau ou de neige qui tombait autrefois sur le globe. Car la fonte des glaces était en rapport avec les surfaces, comme on le remarque encore maintenant sur les glaciers et même dans nos glacières; et il est évident qu'un courant congelé, dix fois plus considérable en poids qu'un autre, ne pourrait proportionnellement offrir dix fois autant de surface; donc, malgré une température plus élevée, il devait fondre moins vite.

M. Alphonse Favre a présenté à la même réunion une carte sur laquelle il a tracé aussi d'anciennes moraines, et où il a marqué la trace des courants glaciaires ou diluviens, en distinguant par des points colorés les moraines calcaires, et celles qui, formées de roches cristallisées, proviennent évidemment de localités très-différentes des Alpes. Il a conclu aussi à l'existence des anciens glaciers.

« Le diluvium n'est représenté, au mont Salève, « que par des blocs erratiques. On en trouve jusque « dans les parties les plus élevées, et ils sont en grand

1 Ch. Martins, Revue des Deux-Mondes; tome XVII, p. 935.

« nombre sur le revers opposé aux Alpes, surtout vis-« à-vis la vallée de l'Arve. »[1]

Un grand nombre de blocs erratiques sont sortis par l'ouverture de l'Écluse, et se retrouvent aux environs de Belley, et même à 25 kilomètres au N. O. de cette ville, où M. Itier les a observés, ce qui les place à environ 240 kilomètres de leur point de départ.

M. Itier a trouvé que, pour le Valromey, ces blocs atteignent 650 mètres au-dessus du niveau de la mer, et que pour la Chartreuse-des-Postes, ils s'élèvent à 915 mètres.[2]

Mais, d'après le même observateur, le terrain de transport qui n'a pas franchi le fort l'Écluse, et celui que l'on rencontre au delà, offrent de telles différences sous le rapport des dimensions et de l'état de conservation des angles, qu'on ne peut les expliquer qu'en admettant deux modes de transport distincts. « Les « premiers, dit M. Itier, qui nous paraissent avoir été « amenés par un glacier, atteignent des dimensions « considérables et leurs angles sont bien conservés. « On peut en observer plusieurs au tournant de la « route qui tend du fort l'Écluse à Collonge. Ces blocs « faisaient évidemment suite, avant l'ouverture de la

---

1 Alph. Favre, Considérations géologiques sur le mont Salève; Comptes rendus dans la Bibl. univ., nouv. série, 9.[e] année, janvier 1844, page 127.

2 Bulletin de la Société géologique de France; t. IX, p. 366.

« gorge, à la rangée de blocs, longue de 8000 mètres « et large de 1200 environ, qui règne depuis Chévrier « jusqu'à Sauvagny, sur le flanc N. O. de la montagne « du Wauche, et qui offre la réunion de la plupart « des roches du Valais. Les blocs qui ont dépassé le « fort de l'Écluse, sont beaucoup moins volumineux « et présentent des angles émoussés, qui accusent un « transport par les eaux. »[1]

Enfin, la Savoie est en partie couverte de ces mêmes blocs, et il est à peu près impossible, tout en reconnaissant qu'ils recouvrent le terrain diluvien, de retrouver la limite qui les sépare. Dans la plus grande partie de son étendue, la surface du bassin de Chambéry est parsemée de blocs erratiques de diverses grandeurs. Ils semblent provenir des vallées de Maurienne et de Tarentaise; leurs angles sont toujours plus ou moins abattus; ils sont dispersés d'une manière à peu près uniforme, jusqu'à la hauteur d'environ 1200 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les cimes élevées qui dominent cette ligne, en sont dépourvues. On les trouve partout gisants à la surface du sol, ou enfouis à peu de profondeur dans une couche de sable, de marne et de cailloux roulés, qui recouvrent l'alluvion ancienne.[2]

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XIV, p. 231.

2 Mgr. Billiet, Bulletin de la Société géologique de France. Nouvelle série, tome I, page 609.

Le bassin de l'Isère est un de ceux qui ont donné le plus grand nombre de blocs. C'était à l'époque erratique un des plus importants, car ceux du Rhône et de l'Arve se terminent brusquement à son contact, qui est marqué par une réunion de très-gros blocs, tandis qu'ils sont dispersés dans le reste du bassin.[1]

La grande élévation du terrain erratique est un de ses caractères les plus remarquables.

Sur le flanc des montagnes alpines, il s'élève jusqu'à 700 et même 800 mètres au-dessus du fond des vallées. Sur le Jura il forme une courbe dont la partie supérieure est sur le Chasseron, en face de la grande vallée du Rhône, à une hauteur de 1033 mètres au-dessus de la plaine, soit à 1417 mètres au-dessus de la mer; les extrémités de la courbe atteignent la plaine, l'une du côté de Soleure, l'autre près de Gex. Ce terrain est distribué d'une manière inégale dans toutes les vallées du bassin du Rhône, et sur les flancs des montagnes, et sur toute la plaine, depuis Soleure jusqu'au Mont de Sion, à l'extrémité occidentale de la Suisse.

En admettant que les Alpes aient offert primitivement un plan incliné et uni, sur lequel les blocs

---

1 Guyot, Dispersion du terrain erratique entre les Alpes et le Jura; Bibliothèque univers., nouv. série, 9.e année, mars 1844, page 173.

auraient glissé jusqu'au Jura, d'après la distance et la hauteur où sont parvenus les blocs, ce plan incliné n'aurait eu que 1° 8′ 50″ de pente; que seraient d'ailleurs devenus les terrains enlevés, et quels agents les auraient transportés ailleurs? [1]

« Les débris les plus élevés du terrain erratique, « continue M. de Charpentier, sont les moraines laté« rales déposées au moment où les glaciers diluviens « avaient pris leur plus grand accroissement et acquis « leur plus grande épaisseur. L'élévation de ces débris « sert à indiquer ce maximum. Ainsi, dans le Haut« Valais, depuis Aernen jusqu'à Brieg, le glacier a eu « constamment 933 mètres d'épaisseur. A Brieg, la « vallée s'élargit, le glacier a dû baisser, et en effet « les débris ne s'élèvent qu'à 800 mètres au-dessus du « Rhône. Cette hauteur a persisté pendant un cours « de 85 kilomètres environ, jusqu'à Martigny; la lar« geur de la vallée restant à peu près égale, elle se « resserre de Martigny à Saint-Maurice, et les débris « se relèvent en effet jusqu'à près de 1000 mètres, « puis s'abaissent à 766 mètres, jusqu'au Léman, le « glacier ayant dû baisser par le grand élargissement « que prend la vallée du Rhône. Arrivé au bassin du « lac, le glacier s'est librement étendu à l'ouest et « vers Thonon; son bord latéral est descendu au ni« veau du lac. A l'est, au contraire, le plateau du

1 De Charpentier, Bibl. de Genève, février 1842.

« Jorat l'a forcé à se relever à 866 mètres, hauteur « que démontrent les débris déposés sur la montagne « de la Playan. Après avoir dépassé le Jorat, le glacier « diluvien du Rhône est arrivé au Jura; là l'obstacle in- « franchissable qu'opposait cette chaîne de montagnes, « a arrêté son mouvement progressif; le glacier s'est « élevé et a déposé sa moraine frontale à 1000 mètres « au-dessus du lac de Neufchâtel, tandis que de deux « côtés, ne rencontrant pas d'obstacles, il s'est élargi « en diminuant d'épaisseur, et a décrit sur les flancs « du Jura la courbe que présentent aujourd'hui les « débris du terrain erratique, et qui vient se termi- « ner d'un côté près de Soleure, et de l'autre près « de Gex.[1]

« Les trois formes de dépôt du terrain erratique qui « se présente *éparpillé, accumulé* ou *stratifié,* répondent « aux débris des lits de glaciers, aux moraines et aux « alluvions glaciaires.

« La quantité comparativement plus grande des blocs « déposés sur les flancs du Jura, relativement à ceux « de la plaine, s'explique en ce que la basse Suisse, « qui a servi de lit au glacier, n'a pas vu s'y former « de moraines; les débris qu'il supportait se sont épar- « pillés au moment de la destruction, et la libre ex- « pansion latérale à droite ou à gauche n'a pas donné « lieu à des accumulations de débris sur les flancs du

1 De Charpentier, Bibl. de Genève, février 1842, page 403.

« glacier. Il n'en a pas été ainsi sur le flanc du Jura, « auquel venait s'appuyer le grand glacier du Rhône; « là les blocs se sont accumulés et ont dû former « une *grande moraine frontale*, qui s'est déposée sur la « partie de la chaîne de montagnes, qui servait de « limite au glacier. »[1]

---

1 De Charpentier, Bibl. de Genève, février 1842, page 403.

CHAPITRE XI.

DU TERRAIN ERRATIQUE DES VOSGES ET DE PLUSIEURS AUTRES LOCALITÉS.

Plusieurs géologues admettent, dans les Vosges, l'existence d'anciens glaciers; mais si tous ne sont pas d'accord sur ce point, on ne peut nier la présence du terrain erratique qui rayonne dans toutes ses vallées. MM. Renoir, Hogard, Édouard Collomb, ont fait à ce sujet des remarques très-curieuses, dont nous nous contenterons de donner ici un résumé.

Ces savants citent dans plusieurs points des blocs erratiques, situés bien au-dessus des cours d'eau actuels, et d'anciennes moraines placées transversalement dans un certain nombre de vallées.

M. E. Collomb a évalué la masse de l'ancienne moraine d'Urbeis à trois millions de mètres cubes.[1]

D'après le même géologue, ce phénomène erratique rayonne autour des points culminants des Vosges. « En « prenant chaque sommet de nos principales montagnes « pour centre, et décrivant sur la carte un cercle autour

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, t. II, page 507.

« d'un de ces centres, on trouve que les moraines frontales, c'est-à-dire, les limites inférieures du phénomène ne se sont pas étendues au delà d'un rayon de « 10 kilomètres. »

Dans ces moraines se trouvent des galets striés, croisés, que ce géologue a envoyés à M. E. de Beaumont, et qu'il avait précédemment soumis à l'examen de M. Agassiz. Ce dernier savant les considère comme le meilleur indice de l'existence des glaciers; il en conclut la présence d'anciens courants glacés dans les Vosges. M. Agassiz a, comme on sait, trouvé ces mêmes galets dans les Alpes, dans le Jura et dans les Iles Britanniques. Jamais, selon lui, on ne les rencontre dans les torrents où le mouvement détruit bientôt le burinage créé par les sables enchassés dans la glace.

M. de Collegno dit avoir observé des galets de ce genre, sur les indications de M. Favre, au Bout-du-monde, près de Genève, et ne pense pas que l'extension du glacier de Chamouni puisse jamais avoir atteint cette localité.[1]

M. Collomb, pour démontrer que les stries sont bien réellement le résultat de rayures opérées par la glace, s'est servi d'une expérience négative, à laquelle il faut cependant attacher une certaine importance: il a soumis des galets striés des Vosges à un mouve-

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, t. II, page 397.

ment de rotation de 15 tours par minute dans un cylindre de fonte où il avait mis du sable et de l'eau.

Après vingt heures de rotation les stries ont complétement disparu, il n'en reste pas trace sur les galets, qui ont pris l'aspect mat des galets de rivière.

Un exemplaire de ces galets, partagé avant l'expérience en deux parties, dont l'une a été soumise au frottement et l'autre conservée à part, représenta très-bien, lorsqu'on réunit les deux morceaux après l'expérience, l'action produite par le mouvement.

« Cette expérience, dit M. E. Collomb, vient confir-
« mer l'opinion de M. Agassiz, qui dit que les galets
« rayés, entraînés par les torrents de glaciers, perdent
« leur burinage à peu de distance de leur origine, pour
« prendre l'aspect mat et uni des galets de transport
« aqueux, et qu'on n'en trouve nulle part dans les tor-
« rents des Alpes, pas plus qu'au pied des cascades ou
« sur le bord des lacs, et que partout où l'on trouve
« des galets rayés on a affaire à des accumulations de
« débris glaciaires.

« Elle nous prouve aussi que les stries de la roche
« en place du Glattstein et du Hasenbuhl, de même
« espèce schistoïde que les galets et de burinage iden-
« tique, seraient complétement détruites si un courant
« d'eau, accompagné de sables, avait passé sur ces
« roches pendant vingt heures seulement. Ce court
« espace de temps aurait suffi pour faire disparaître
« les traces laissées par le frottement erratique.

« Ce serait donc une erreur de supposer que les « stries remarquées sur les rochers dans différents « pays, peuvent provenir de courants d'eau ou de boue; « l'origine de ces courants est d'ailleurs très-problématique, et nous voyons, par l'expérience précédente, « qu'ils produisent sur les roches un effet tout opposé, « c'est-à-dire, qu'ils détruisent les stries au lieu de les « provoquer. »[1]

Cette expérience conduit encore M. Collomb à ranger dans le terrain erratique quelques dépôts meubles locaux, qui reposent sur des roches striées.

« Nous avons sur nos roches striées, et en particulier sur celles du Glattstein, dans les dépressions « du terrain, un dépôt qui atteint quelquefois l'épaisseur de plusieurs mètres, composé de petits blocs de « granit, de galets striés, recouverts d'un peu de terre « végétale. Ces dépôts sont postérieurs sans doute, « puisqu'ils recouvrent les roches en place, mais ils « font partie intégrante de la même époque géologique, « du même phénomène qui a donné lieu aux stries; « ils sont comme l'étage supérieur d'un même terrain.

« La roche a été striée pendant la période d'activité « du glacier; puis les circonstances géologiques ayant « changé, les glaces se sont fondues, retirées; elles ont « laissé sur place les débris menus qu'elles étaient en

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, t. II, page 509.

« voie de transporter; nous les retrouvons sur le lieu « même où ils ont été déposés, sans qu'ils aient subi « aucun dérangement dans leur position. Il n'est guère « possible de rapporter ces débris à un diluvium pos- « térieur, parce que, s'ils eussent été remaniés ou « transportés par les eaux, elles auraient altéré la pu- « reté et la netteté des stries qu'ils recouvrent. Ces « stries auraient même complétement disparu de la « surface de la roche, puisqu'un frottement de vingt « heures les détruit.

« Les dépôts meubles recouvrant les roches striées « qui ont été remarqués dans le Nord, ont été consi- « dérés comme appartenant à une époque géologique « postérieure. Cependant, n'est-il pas probable qu'ils « sont de même nature que les nôtres? et, si l'on cher- « chait bien, peut-être y trouverait-on des galets striés. « Ce serait un indice certain que ces dépôts appar- « tiennent à la fin de l'époque erratique. »[1]

Ces galets glaciaires, décrits par M. Agassiz et soigneusement étudiés par M. Édouard Collomb, sont d'autant plus nombreux, dit ce dernier géologue, que les glaciers charrient des fragments de roches plus variés et de dureté plus inégale. Il cite, dans les Alpes, le glacier de Rosenlauï comme riche en galets striés, parce que les pics qui le dominent, les Wetterhörner,

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, tome II, page 510.

sont précisément situés sur la limite du gneiss et du calcaire. Ces deux roches, dont l'une est dure et l'autre plus tendre, et dont les fragments sont serrés par la glace contre les flancs de la vallée, se rayent et montrent des stries; tandis que les moraines des Bossons et de Taconnet, granitiques et gneissiques, n'en offrent que peu d'exemples.

« Le galet de granit, dit M. Collomb, lorsqu'il est « charrié par un glacier et qu'il ne trouve sur son « passage que du granit, ou bien le galet calcaire qui « ne rencontre que du calcaire, ne se rayeront pas.

« Ce fait nous explique pourquoi dans quelques « vallées des Vosges, comme au pied de certains gla- « ciers, il y a absence complète, et sur d'autres points « et aux abords d'autres glaciers, il y a profusion de « ces espèces de pierres. »[1]

On doit encore à M. Collomb l'explication d'une espèce d'anomalie présentée par les moraines des Vosges: souvent les matériaux dont elles sont formées sont usés et arrondis, et ces sortes de débris sont beaucoup plus abondants que ceux à angles vifs, tandis que l'on remarque le contraire en Suisse, où les moraines, en voie de formation, sont presqu'en entier composées de matériaux anguleux.

Cette différence tient à la structure même des Alpes

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; 4.e série, tome IV, page 302.

et des Vosges. Dans cette dernière contrée, à l'époque erratique, les glaciers n'étaient surmontés par aucune cime qui pût répandre à chaque instant des débris sur leur surface. Si les ballons dominaient leurs croupes arrondies, ils ne pouvaient donner naissance à des avalanches composées de fragments anguleux. Or, ces débris qui tombent sur le glacier, sont les seuls qui puissent profiter de ce moyen de transport, en ménageant leurs angles et leurs arêtes; les autres, serrés par la glace contre les parois de la vallée ou frottés les uns contre les autres pendant la progression, s'usent et s'arrondissent.

Les moraines formées de blocs anguleux sont donc exceptionnelles dans les Vosges. M. Collomb n'en cite que deux, celle de la vallée d'Urbeis en aval du col de Bussang, et celle qui est située en aval du lac des Corbeaux.

« Pourquoi, dit M. Collomb, ces deux moraines « font-elles exception dans les Vosges? pourquoi ne « renferment-elles point de débris arrondis? Parce « qu'elles se trouvent placées dans des conditions iden- « tiques à certaines moraines des hautes régions; elles « sont fort reculées; elles sont perdues dans les fonds « des vallées les plus abruptes, fonds qui sont préci- « sément dominés par des montagnes dont les pentes « sont beaucoup plus escarpés que partout ailleurs « dans les Vosges. Ensuite, ces matériaux n'ont point « effectué de voyages lointains; ils n'ont parcouru

« qu'une ligne de 1 kilomètre avant d'arriver au point « où on les rencontre aujourd'hui. »[1]

Les glaciers de la Suisse, dominés par des obélisques ou des crêtes dentelées, en voie continuelle de destruction et d'éboulement, doivent offrir des débris conservés, et l'exception des Vosges vient ici confirmer la règle.

M. Renoir n'hésite pas d'attribuer le terrain erratique des Vosges à l'existence d'anciens glaciers; il trouve d'immenses difficultés à expliquer autrement la présence des blocs et des alluvions.

« Toutes ces difficultés disparaissent, dit-il, tout « s'explique naturellement, si on place sur les ballons « de Giromagny et de Servance et sur les hauteurs en- « vironnantes, des glaciers qui, dans leur mouvement « incessant, auront transporté sans effort sur les hau- « teurs auxquelles ils atteignaient tous les quartiers de « roches détachés des sommités, et dont la fusion aura « fourni, pendant un long laps de temps, des torrents « et de puissantes rivières, entraînant au loin, de part « et d'autre, des crêtes de la chaîne, tout ce que nous « appelons aujourd'hui des alluvions anciennes.

« Toutes les autres grandes vallées des Vosges donnent « lieu à des observations semblables; on reconnaît aisé- « ment que dans ces montagnes, comme dans les Alpes,

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, tome IV, page 219.

« les blocs erratiques et les cailloux roulés s'étendent « en éventail tout autour du système, ce qui n'a jamais « pu être l'effet d'un courant.

« Voilà donc, ce me semble, l'existence d'anciens « glaciers constatée sur les montagnes des Vosges, et « cependant on sait que le ballon de Giromagny, point « culminant de ceux qui nous occupent, n'a que 1250 « mètres de hauteur absolue.

« Si ce phénomène de refroidissement est particulier « à la terre, sa température a-t-elle pu s'abaisser une « fois jusqu'à ce point? ou les vallées ont-elles un jour « changé de niveau, et l'ont-elles pu sans se disloquer « entièrement? L'époque où les glaces pouvaient être « permanentes à 400 et quelques mètres de hauteur « absolue, entre Saint-Maurice en Valais et Bex, point « le plus bas où j'aie pu observer leurs traces dans les « Alpes, était là même que celle où les glaciers des- « cendaient au même niveau dans les Vosges, à Wes- « serling et à Giromagny. »[1]

On voit, par ces considérations, que M. Renoir attribue à un abaissement de température la présence des glaciers dans la chaîne des Vosges, tandis qu'elle s'explique tout aussi naturellement, en admettant qu'à une certaine époque il tombait sur ces montagnes une quantité de neige bien plus considérable qu'aujourd'hui, et que la fusion n'était pas comme de nos jours

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XI, p. 64.

égale à l'alimentation. Si chaque année, en retranchant l'un de ces phénomènes de l'autre, c'est-à-dire la quantité de neige fondue pendant l'été de la proportion tombée en hiver, il y a un reste en faveur de la neige tombée; nécessairement il se formera un glacier, et ces quantités restantes s'accumulant chaque année, il en résultera un glacier qui descendra dans la vallée et s'avancera toujours et annuellement dans la plaine, jusqu'à ce que son extrémité fonde par la chaleur du climat; et lorsque la fusion annuelle de la neige floconneuse sur toute sa surface, et celle de la neige convertie en glace, à l'extrémité du glacier, sera égale à la quantité tombée, le glacier sera stationnaire. Il pourra osciller chaque année et pendant longtemps dans d'étroites limites, comme on le voit actuellement dans les principales vallées des Alpes; puis, si des circonstances différentes surviennent, s'il tombe moins de neige et qu'il en fonde davantage que le glacier n'en reçoit dans son nevé, ses oscillations annuelles deviendront moins étendues; elles retrograderont insensiblement comme le flot de la marée, qui, lorsqu'elle se retire, oscille longtemps, perd chaque fois du terrain, et enfin, après plusieurs siècles, le fleuve glacé se sera irrévocablement retiré.

Nul doute que pendant cette époque de grandes pluies et de neiges abondantes, dues à une évaporation proportionnée, il n'y ait eu des rivières puissantes, résultat de l'ensemble de la fonte des neiges

pendant l'été, saison où le glacier s'étendait en avant, où la neige superficielle disparaissait, et où les alluvions se déposaient tout autour des centres, des groupes de montagnes neigeux, tandis qu'en hiver tout mouvement était arrêté, et le groupe condensateur se chargeait de nouveau d'une masse considérable d'eau solide, qui s'y accumulait à une grande hauteur. Alors tout était calme, les ruisseaux tarissaient, les rivières ne débordaient plus, le glacier restait immobile, jusqu'à ce que la chaleur, ce principe du mouvement dans la nature inorganique comme chez les êtres vivants, vienne de nouveau ramollir et fondre les glaces, et reproduire les phénomènes glaciaires et diluviens.

Comme le fait observer M. Renoir, il est impossible qu'un courant dont la direction eût été unique, comme par exemple le déplacement d'une grande masse d'eau par le soulèvement des Alpes, ait pu étendre le diluvium en éventail autour d'un centre; et, si l'on peut à la rigueur expliquer le sol de transport qui s'est répandu des deux côtés de la chaîne des Alpes, par la présence des neiges et des glaciers accumulés sur ces montagnes, et presque instantanément fondus par un dernier soulèvement, on voit que la même hypothèse ne peut s'appliquer à la chaîne des Vosges, et il est cependant bien probable que tous les phénomènes erratiques doivent leur origine à des causes semblables ou analogues.

Un argument qui vient encore ajouter à la probabilité d'une plus grande quantité de neige, c'est que tout le terrain diluvien qui est autour des Vosges, comme tout celui qui forme une double ceinture le long de la chaîne des Alpes, doit être restitué par la pensée à leurs sommets et à leurs flancs, et nécessairement alors les cimes étaient plus hautes, les vallées plus élevées, et les conditions favorables aux glaciers plus nombreuses.

Nous devons dire toutefois qu'un des plus illustres géologues de notre époque, M. Élie de Beaumont, qui a, comme on le sait, étudié la chaîne des Vosges avec beaucoup de soin, n'y reconnaît pas de signes suffisants, pour indiquer la présence d'anciens glaciers.

M. Schimper ne croit pas non plus au terrain erratique dans ces montagnes. « Je dois avouer, dit-il, « qu'aucune des roches striées que j'y ai vues ne porte « le caractère des roches striées par les glaciers. Les « moraines qu'on veut avoir observées dans diverses « grandes vallées, n'ont qu'une analogie très-éloignée « avec les moraines véritables; toutes les pierres sont « roulées ou fortement écornées. »[1]

Si la présence du terrain erratique dans les Vosges n'est pas un fait bien démontré pour quelques géologues, on ne peut nier du moins celle d'un terrain

---

1 Lettre à M. Élie de Beaumont. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXII, page 45.

de transport rayonnant du centre dans les vallées. Les causes actuelles ne peuvent donc l'expliquer. Si l'on veut reconnaître que l'existence d'un climat plus chaud devait accumuler en hiver une quantité de neige beaucoup plus considérable sur ces montagnes, on aura toujours une cause capable de créer les alluvions, si on ne la croit pas suffisante pour avoir formé des glaciers, et par suite du terrain erratique.

L'élévation et l'étendue des Vosges motivent notre supposition, et la latitude de cette contrée nous permet de la considérer comme ayant été soumise, à l'époque erratique, à des conditions hivernales peu différentes, pour la température de celles qui s'y présentent aujourd'hui.

La cause étant la même pour les deux sortes de terrain, l'observation attentive des lieux peut seule résoudre la question, et nous indiquer si un seul effet a été produit, ou s'ils se montrent tous les deux.

Indépendamment des Alpes, des Vosges et des régions polaires, on retrouve le terrain erratique dans un grand nombre de localités, et nous choisirons seulement dans les écrits des géologues quelques exemples qui puissent faire comprendre l'étendue du phénomène, et montrer en même temps que des courants seuls n'auraient pu produire des résultats si différents.

Sa présence dans les Alpes, dans les Vosges, devaient faire croire qu'il appartenait plus spécialement aux

chaînes de montagnes, et son grand développement vers le pôle nord devait aussi faire supposer que l'élévation de la latitude pouvait compenser, comme pour la géographie organique, l'altitude des localités.

On a donc cherché ce phénomène dans les vallées et au pied de la chaîne des Pyrénées, et l'on a vu effectivement que de grandes actions de transport avaient eu lieu comme dans les Alpes.

M. de Collegno a décrit ce terrain avec beaucoup de détails, et sans le considérer comme créé par des glaciers; il admet cependant qu'il a été transporté par de grands courants, résultant de la fonte des glaces, lors de l'apparition des ophites.

M. Jean de Charpentier a lu en septembre 1844, au congrès de Milan, une réfutation très-remarquable de l'hypothèse de M. de Collegno.

Nous croyons que les terrains de transport des Pyrénées peuvent avoir été formés par des glaciers et par des torrents; mais ils l'ont été comme ceux des Alpes, à une époque postérieure à l'époque tertiaire, et par le fait de grandes quantités de neige qui tombaient en hiver, et se fondaient en été ou se transformaient en glaciers.

Il est très-probable, du reste, que des glaciers beaucoup plus étendus que ceux que l'on connaît maintenant, ont existé dans ces montagnes.

M. Boubée n'hésite pas à y reconnaître les traces de roches polies et surtout la présence d'anciennes mo-

raines, qui rendent les phénomènes glaciaires aussi évidents dans cette chaîne que dans celle des Alpes.[1]

L'état actuel de l'atmosphère, moins chargée de vapeur qu'autrefois, suffit pour s'opposer à la formation des glaciers. Cela est si vrai, que l'Altaï, quoique situé sous une latitude plus septentrionale et sous un climat beaucoup plus froid que les Pyrénées, *mais à la vérité beaucoup plus sec*, n'offre lui-même, d'après M. Tchiattchef, que des glaciers d'une assez médiocre importance.[2]

M. Agassiz reconnaît même l'existence de glaciers propres au Jura. « Il y existe, dit-il, de véritables mo-« raines, dont personne n'a encore parlé, et qu'il faut « distinguer des blocs erratiques. Dans ces moraines, « qui ne s'observent que sur les plus hautes sommités « jurassiques, les blocs sont usés comme ceux des mo-« raines des Alpes, et il est évident qu'elles proviennent « d'une époque où le Jura a eu ses glaciers propres. « Les plus distinctes que j'ai observées, se voient au « pied de la Dent-de-Vaulion, du côté du lac de Joux, « près de la jonction des routes de Vallorche et de la « Côte. »[3]

M. Édouard Collomb a appelé dernièrement l'at-

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XIII, p. 348.

2 Rapport sur un mémoire de M. P. Tchiattcheff, relatif à la constitution géologique de l'Altaï. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XX, page 1393.

3 Agassiz, Études sur les glaciers, page 299.

tention des savants sur un petit glacier du Jorat, situé entre les Alpes et le Jura. Nous rapporterons ses propres paroles :

« Le grand glacier de M. de Charpentier, glacier qui, « à l'époque de sa plus grande extension, couvrait tout « le pays situé entre les Alpes et le Jura, présente une « complication particulière, sur laquelle M. Blanchet « a déjà recueilli des matériaux. Cet immense glacier « n'a point terminé son existence par une agonie lente « et régulière, ni par une mort brusque : il a eu des « temps d'arrêt, des moments de retour à une vie ac- « tive; pendant sa période de fusion, il s'est arrêté en « chemin, et s'est divisé en une multitude de petits « glaciers, qui acquirent alors un mouvement propre « et indépendant, et, chose remarquable, ce nouveau « mouvement s'est trouvé sur certains points en sens « inverse de celui du grand glacier primitif. Ce dernier « partait du S. et se dirigeait vers le N., et quelques- « uns des petits glaciers de la seconde époque avaient « un mouvement qui les portait du N. au S. En exa- « minant la configuration du sol, on se rend facilement « compte de ce phénomène. Le terrain compris entre « les Alpes et le Jura, n'est point un plan régulière- « ment incliné vers le nord; il y a dans cet espace des « lacs très-profonds, puis tout un petit système de « montagnes peu élevées, le Jorat, avec des pentes et « des contre-pentes : les vallons de ce système versent « leurs eaux, d'un côté dans le lac de Genève, et de

« l'autre dans le lac de Neufchâtel. Lorsque, par suite « des progrès de la fusion, le grand glacier a reculé « jusque vers les contre-forts du Jorat, il y a eu temps « d'arrêt, et les petits glaciers se sont formés dans tous « les vallons qui rayonnent autour du lac de Genève. « J'en ai exploré quelques-uns : ils sont barrés par des « petites moraines; on y trouve beaucoup de blocs et « un grand nombre de galets striés. Ces matériaux « proviennent, d'une part, de ceux arrachés au sol « même, puis de ceux que le grand glacier était en « voie de transporter, et qui, arrêtés au milieu de leur « course, sont revenus sur leurs pas; ces derniers sont « d'origine alpine. Ajoutons encore à tous ces débris « ceux que les eaux ont mis en mouvement lors de la « fonte définitive des glaciers et pendant la période ac- « tuelle, et vous pouvez juger de la complication du « phénomène.

« Ces faits sont au surplus d'accord avec ceux que « j'ai remarqués dans les Vosges. Ici, je n'ai toutefois « pas de blocs qui aient fait deux fois le même tra- « jet, la configuration du terrain s'y oppose; mais « j'ai acquis la preuve que nos anciens glaciers ne « se sont pas fondus par suite d'une succession régu- « lière d'années chaudes. Pendant leur période de re- « traite, ils ont stationné fort longtemps sur certains « points; station qui a donné lieu à la formation d'une « échelle de moraines, qui barrent transversalement nos « vallées à une grande distance les unes des autres.

« Ainsi donc, si nous comparons les faits, en Suisse et « dans les Vosges, nous arrivons au même résultat : « les anciens glaciers, dans ces deux contrées, n'ont « point disparu de la surface du sol par une révolu-« tion brusque, mais par une fusion lente et inter-« mittente. »[1]

Notre théorie est entièrement d'accord avec cette fusion lente des glaciers et leur retrait successif; elle paraît l'être moins avec les intermittences; mais nous ne connaissons pas les périodes de ces inégalités, et nous devons admettre, pour l'époque erratique, des séries d'années un peu plus froides ou un peu plus chaudes, un peu plus sèches ou plus humides, pour certaines localités, comme nous le voyons de nos jours. Nous ne devons pas perdre de vue, non plus, que des perturbations locales ont pu avoir lieu par des tremblements de terre, des éruptions volcaniques, des soulèvements modernes et par diverses actions plutoniques, dont les traces sont si nombreuses sur toute la terre, qu'il nous est impossible de démêler leur intensité et l'ordre de leur succession.

MM. Buckland, Agassiz et Lyell ont reconnu des traces évidentes de glaciers en Écosse, en Angleterre et en Irlande.

Un grand nombre de blocs, arrachés aux monts

---

1 Lettre de M. Édouard Collomb. Bulletin de la Société géol. de France; 2.e série, tome IV, page 176.

Combriens, recouvrent le grès bigarré, et appartiennent à une époque très-ancienne, antérieure au soulèvement de ce grès.[1]

Le 3 février 1836, M. Murchison a lu à la société géologique de Londres un mémoire sur les dépôts de graviers mélangés de blocs de granit qui couvrent une partie d'une zone de plusieurs milles de largeur entre l'Angleterre et le pays de Galles, et en remontant à travers le Lancashire jusqu'au Cumberland d'où les blocs primitifs paraissent être venus, quoiqu'il soit possible qu'ils tirent leur origine d'Écosse et même d'Irlande. Quoi qu'il en soit, ces blocs et le gravier qui les contient doivent provenir du nord, ils sont en général plus gros dans la partie septentrionale de la zone en question que vers le midi, où ils s'étendent en grande abondance jusqu'à 60 milles dans l'intérieur des terres.

L'auteur explique ce phénomène, en supposant que le pays de Galles était, à une époque géologique récente, une île séparée de l'Angleterre par un détroit, où tous ces dépôts transportés par des courants ou de fortes marées formaient le fond de la mer; ensuite, des actions successives et irrégulières ont soulevé ce fond et réuni les deux îles. Il faut cette irrégularité de rehaussement pour rendre compte des interrup-

---

1 Hopkins, Sur l'élévation et la dénudation des lacs du Cumberland et du Westmooreland. *Philos. Magaz.*, décembre 1842.



tions, de ces dépôts, dont quelques-uns se trouvent au sommet de collines de 500 à 600 pieds de hauteur. Les blocs de granit auraient été apportés par diverses causes, entre lesquelles l'auteur paraît admettre de préférence les masses de glace que l'on voit chaque hiver se détacher des côtes dans des latitudes qui ne sont guère plus élevées et déposer au fond de la mer en se fondant d'énormes blocs de pierres à de grandes distances.[1]

Le terrain erratique est aussi très-répandu en Amérique, et, quand ce vaste continent aura été bien étudié à ses deux extrémités et au pied de ses hautes montagnes, il est très-probable que ce curieux phénomène s'y présentera avec ses caractères particuliers de localisation.

La surface des États-Unis est recouverte sur plusieurs points par des dépôts diluviens et des blocs erratiques. L'analogie que ces dépôts présentent sur quelques points avec les dépôts aurifères de l'Oural, donnent à M. Featherstonhaugh l'espérance de retrouver aux États-Unis, en même abondance, les métaux précieux que l'on exploite en Russie[2]. Sur une portion de l'État de l'Ohio, M. Mather[3] rapporte que l'on a

1 Bibl. univ., 1836; tome I, page 176.

2 Relation d'une reconnaissance géologique faite en 1835 au Coteau-Prairie. Bull. de la Soc. géol. de France; t. VIII, p. 178.

3 *Americ. Journal of sciences;* janvier 1841.

trouvé sous la terre végétale la surface d'un calcaire bleu d'un âge très-ancien, parfaitement polie sur les larges espaces découverts pour y creuser des carrières, et polie, comme si elle l'avait été par quelque corps grave mis en mouvement : elle était aussi marquée de sillons parallèles en lignes droites. Les cavités accidentelles de la roche ont conservé toutes leurs aspérités, et les parties saillantes seules ont reçu le poli; ce qui prouve que c'est un corps dur et non l'eau et le sable qui l'ont produit.[1]

M. le D.r Jackson cite un bloc erratique de cuivre natif pesant 1360 kilogrammes, trouvé sur le conglomérat près de la rivière Onontaya en Amérique. Il provient, suivant toute apparence, de la serpentine de l'île Royale, située au nord, à la distance de 40 milles (64 kilomètres).[2]

M. le professeur Rogers a appelé l'attention de l'Association des géologues américains, en 1842, sur les roches secondaires de la Pensylvanie qui ont été striées; il admet donc le polissage moderne des roches et la formation des stries comme dépendant d'une seule et même cause à ces deux époques différentes, et comme le résultat de grands courants qui auraient, dès cette époque de haute température, cou-

---

1 Bibl. univers. de Genève; janvier 1842, page 200.

2 Bulletin de la Société géologique de France; nouvelle série, tome II, page 319.

vert le sol et modifié l'épaisseur des couches dans ces localités.

Nous pourrions rapporter des observations bien plus nombreuses sur ce sujet, mais nous nous bornerons à ces citations et nous terminerons ce qui est relatif aux terrains erratiques par l'examen des terrains de transport polaires.

CHAPITRE XII.

DES TERRAINS ERRATIQUES POLAIRES.

Terrain du pôle nord.

Le phénomène erratique s'est développé vers le pôle nord sur une très-grande échelle, mais avec des caractères différents de ceux qui se sont présentés dans les Alpes; il n'est pas probable non plus que l'âge des deux terrains soit le même ; mais là comme ailleurs on reconnaît une action continuée pendant un temps excessivement long ; des transports opérés par des agents qui ont permis aux blocs de s'éloigner beaucoup de leur point d'origine, et sur quelques parties même le terrain de transport est devenu presque sédimentaire. On ne peut méconnaître la grande influence exercée sur la production et sur la distribution de ce terrain par la présence des Alpes scandinaves, et l'on est forcé aussi de recourir à des émersions et par conséquent à des soulèvements postérieurs à leur dépôt. La quantité de blocs erratiques est énorme, et l'on se figure difficilement la masse de terrain de

transport qui couvre la Russie, la Laponie, la Suède, la Norwège et une partie de l'Allemagne, de l'Écosse et de l'Angleterre.

Le phénomène diluvien du pôle nord, aidé sans doute par l'ancienne élévation de la chaîne scandinave et par l'époque assez reculée de son soulèvement, s'est déployé sur la majeure partie de l'Europe.

Le dépôt de transport a commencé bien avant l'époque actuelle, et les alluvions avec coquilles que MM. Murchison et de Verneuil ont observées en Russie, et qu'ils ont considérées comme faisant partie du terrain pliocène, se lient au terrain de transport qui a continué de se déposer plus tard, mais qui, avant l'émersion de la Russie, s'étendait dans la vaste mer qui la couvrait alors.

« Indépendamment du soulèvement séculaire de la « côte dans le golfe de Bothnie, il paraît que le fond « de la mer dans ces parages est sujet à de fréquents « changements, dus en partie au mouvement de l'eau « agitée par la tempête, et surtout à l'action de ces « énormes glaçons, si souvent arrêtés à l'époque de la « débacle par ces nombreux promontoires de la côte « et les écueils dont la mer est hérissée. Ces glaçons, « entassés en masses colossales, là où ils rencontrent « de pareils obstacles, entraînent souvent dans leur « mouvement les sables du fond et jusqu'à des frag- « ments de rochers d'une grandeur considérable.

« Dans les environs du village de Kittelholm, près

« de Sweaborg, les habitants font surtout remarquer « deux de ces rochers ambulants qui ont changé de « position à une époque récente. Sur un rocher de la « côte, que l'on appelle Witthelter, on remarque, à « une hauteur de trois sagènes au-dessus du niveau « de la mer, un bloc de granit, auquel les matelots « russes ont donné le nom de veau marin, parce qu'il « rappelle effectivement, par sa forme, un de ces pho- « ques que l'on voit souvent couchés au soleil le long « de la rive. Ce bloc n'a paru à l'endroit où il se trouve « aujourd'hui qu'en 1814 ou 1815. Un glaçon qui le « renfermait, a probablement été soulevé par l'action « des vagues et des vents jusqu'à un petit plateau qui « se trouvait à cette hauteur, et au moment du dégel « il a déposé ce bloc, entraîné d'une partie peut-être « éloignée de la côte.

« L'autre rocher erratique des environs de Kittel- « holm est d'autant plus remarquable, que les habi- « tants du pays l'ont d'abord reconnu, lorsqu'il a « paru en 1806 ou 1807, à l'endroit où il se trouve « aujourd'hui, comme ayant occupé avant cette époque « un autre emplacement qu'ils ont désigné aux officiers « russes : les glaces l'ont entraîné dans le cours d'un « seul hiver à une distance de 250 sagènes ou d'une « demi-verste.

« Partout nous voyons dans le nord de l'Allemagne « et dans la Livonie, des blocs de roches primitives et « même des couches entières de fragments de granit

« déposés dans la plaine ou enfouis dans les collines « de formation tertiaire. »[1]

Cette dernière observation de blocs enfouis dans les terrains tertiaires, reculerait bien loin l'époque des premiers froids qui, en effet, ont dû commencer dès que la chaleur centrale ne s'est plus fait sentir.

Les terrains même les plus anciens du nord de l'Europe rappellent une formation alluvienne excessivement étendue, qui prouve que les pluies immenses de cette époque ne pouvaient se condenser que vers les pôles, ou que, du moins, elles y tombaient en quantité plus grande que partout ailleurs.

Ce fait du peu d'agrégation des terrains diluviens, est ce qui a le plus frappé MM. Murchison, de Verneuil et Keyserling dans leur grand voyage en Russie.

« Tous les dépôts palézoïques de la Russie d'Europe, « disent ces savants, depuis leurs couches les plus « basses (les couches siluriennes inférieures) jusqu'aux « couches permiennes, c'est-à-dire aux équivalents du « Zechstein, etc., qui en forment la limite supérieure, « offrent généralement un aspect minéral inusité parmi « les roches d'une aussi grande antiquité des autres « parties de l'Europe : sur de grandes étendues, ils « présentent les facies non consolidées des dépôts secon-

1 De Meyendorf, Sur l'abaissement des eaux de la Baltique et le déplacement des rochers sur ses bords. Bull. de la Société géologique de France; tome IX, p. 79.

« daires les plus récents, des dépôts tertiaires et même « des dépôts d'alluvions des autres contrées. »[1]

Ces savants géologues attribuent l'aspect particulier de ces terrains à l'absence de toute modification postérieure à leur dépôt; car en approchant de l'Oural, qui s'est ouvert un passage au milieu de ces roches à peine consolidées, ils ont vu les dépôts horizontaux se redresser comme des murailles et prendre la forme cristalline ou subcristalline qui leur est habituelle dans l'Europe occidentale.

Il serait difficile, selon nous, de ne pas reconnaître dans l'état particulier de ces anciens terrains l'action de ces lavages étendus, qui ont dû commencer par les pôles et perdre successivement de leur intensité.

« M. Sefstræöm, dit M. Daubrée, a déduit d'obser- « vations faites en grand nombre de points de la Suède, « que les directions des stries diluviennes ont pour « moyenne une ligne dirigée N. N. E.—S. S. O.; il a « toutefois signalé lui-même un assez grand nombre « de variations, qu'il regarde comme des déviations « de la direction normale. D'après MM. Bœhtlingk et « Durocher, il existe une uniformité plus grande en- « core dans la position des stries en Finlande et dans « les parties adjacentes de la Russie; mais en Norwège « on ne retrouve plus une telle constance de direction.

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXI, page 1167.



« A part des inflexions qui n'existent que sur une petite « échelle, les traces de transport et de frottement, si « nombreuses dans cette dernière contrée, divergent à « partir des régions culminantes, suivant la plus grande « pente du massif......

« Les observations faites par M. le professeur Keil- « hau et par M. Siljestroem dans beaucoup d'autres « parties des Alpes scandinaves jusqu'à une hauteur « de 4000 pieds norwégiens (1160 mètres), conduisent « au même résultat; et ainsi, l'agent qui a abattu ou « arrondi et strié d'une manière si frappante le sol de « la Norwège, paraît avoir rayonné autour des prin- « cipales crêtes en suivant les grandes vallées qui en « descendent, de même que dans les Alpes; ce n'est « que loin des montagnes proprement dites, sur les « plateaux faiblement ondulés de la Laponie, de la « Suède et de la Finlande que ces accidents prennent « une uniformité d'allure, qui a d'abord été consi- « dérée d'une manière trop exclusive comme caracté- « ristique de tout le phénomène erratique du Nord.[1]

« Partout où nous avons observé les stries, dit « M. Durocher, N. N. O. et N. N. E., le côté choqué était « exposé au N.; leur point de départ est donc au delà « du 63.e degré de latitude; il paraît être sur les plates- « formes mamelonnées, situées dans le Jemtland entre « le 63.e et le 64.e degré de latitude, à la séparation

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XIV, p. 573.

« de la Suède et de la Norwège, dans la région où se « trouvent les lacs Kalln, Torrön, Storbus, Hotagen et « Langligen. Ces plates-formes et leurs massifs rocheux « aplatis, d'une élévation peu considérable, et générale- « ment inférieure à 1200 mètres, paraissent avoir été « l'origine d'actions érosives qui se sont étendues en « rayonnant vers le midi de la Suède, comme le mon- « trent les deux lignes normales N. 22° ½ O. et N. 15° E.; « elles ont strié la côte orientale, suivant la direction « S. S. E., et la côte occidentale, suivant la direction « S. S. O., et sur le méridien central, celui de Phi- « lippstad et Jonköping, elles ont produit un assez « grand nombre de stries voisines du N.-S. »[1]

Les observations de M. Daubrée et des naturalistes norwégiens, ainsi que la plupart de celles qui ont été faites par M. Durocher, s'accordent, comme on le voit, parfaitement avec l'hypothèse que nous avons développée, surtout en restituant aux Alpes scandinaves tous les matériaux qui en ont été entraînés.

De larges glaciers descendent des montagnes par leurs vallées et rayonnent autour de leur centre, rayant et usant sur leur passage; puis les glaces se détachent, flottent sur la mer qui couvrait alors la Suède, la Laponie et une grande partie de la Russie.

Des débacles annuelles qui produisaient de vastes

---

1 Durocher, Bulletin de la Société géol. de France; 2.e série, tome IV, page 36.

courants, et le charriage d'une multitude de débris, dont un grand nombre emportés sur les glaces que le retour de la chaleur mettait en liberté; tels étaient les phénomènes du Nord à cette époque assez moderne, relativement aux temps géologiques, et si reculée pour nous. Là, comme dans les Vosges, l'Angleterre et l'Écosse, le phénomène erratique s'est développé autrefois sur des points où les glaciers ne peuvent plus se former aujourd'hui. M. Durocher a reconnu des centres d'action dans des pays où le niveau moyen est de 800 à 400 mètres et couvert de lacs.[1]

Auparavant des pluies torrentielles et périodiques avaient déjà usé et corrodé les montagnes, silloné leurs flancs de profondes sulcatures et déposé les *oses* et une quantité énorme de débris entièrement diluviens, et sur lesquels sont venus se superposer les actions glaciaires et le charriage des blocs dont nous venons de parler.

Mais, si les faits que nous venons de rapporter s'expliquent facilement en acceptant l'extension des anciens glaciers et la fonte alternative de neiges très-abondantes et des pluies diluviennes antérieures, le phénomène erratique se complique singulièrement dans certaines localités, et l'on est forcé d'admettre, avec M. Daubrée, des mouvements oscillatoires dont

1 Bulletin de la Société géolog. de France; 2.e série, t. IV, page 120.

l'idée n'a maintenant rien d'effrayant ni d'impossible pour les géologues, qui savent que, de nos jours, le nord de l'Europe est encore soumis à des soulèvements séculaires.

Ces curieuses observations ont été faites par M. Daubrée avec toute l'exactitude, et exposées avec toute la réserve et la modestie que savent parfaitement apprécier ceux qui connaissent le savant professeur de Strasbourg. Voici du reste ses propres expressions :

« On sait que beaucoup de contrées littorales de la « Norwège, depuis la partie méridionale jusqu'au cap « nord, sont recouvertes par une formation argileuse, « qui renferme des coquilles identiques avec les espèces « qui vivent aujourd'hui dans la mer voisine. Ce dépôt « récent de la mer, qui a été signalé en un grand « nombre de lieux par M. Keilhau, démontre que la « Norwège a subi un soulèvement à une époque très- « rapprochée de nous. Près de Christiania, sur le che- « min d'Aggersbach, on trouve une preuve évidente « que cette argile a été déposée dans une mer tran- « quille, postérieurement au polissage du sol et au « creusement des stries : un rocher élevé à environ « 70 mètres au-dessus du niveau de la mer, a été « dégagé, il y a peu de temps, de l'argile qui l'en- « tourait; sur l'une de ses parois, qui offre des stries « profondes, on observe des serpules au nombre d'à « peu près quarante, qui sont adhérentes à cette sur- « face, comme celles qui vivent aujourd'hui près du

« niveau de la mer, ou comme les balanes d'Udde-
« walla; quelques-uns de ces animaux ont aussi péné-
« tré dans une fissure étroite, que l'on pourrait croire
« ouverte depuis quelque temps seulement, tant la
« cassure en est fraîchement conservée; ce même
« rocher est encore très-remarquable, en ce que les
« stries y ont été gravées avec la même vigueur, sur
« les faces inclinées, sur les parois verticales et au-
« dessous d'une corniche qui surplombe de 45°.

« Le dépôt argileux, dont il est question, a été ob-
« servé par M. Keilhau, dans le S. E. de cette contrée,
« à une hauteur de 188 mètres au-dessus du niveau
« de la mer, et dans l'intérieur des terres, jusqu'à une
« distance de 12 myriamètres du littoral. D'un autre
« côté, les îles et îlots des archipels qui bordent la
« côte, particulièrement aux environs de Friedrikse-
« værn, ont des surfaces très-fortement arrondies,
« cannelées et striées, qui se prolongent jusqu'à perte
« de vue dans le sein de la mer.

« Si, lorsque les sillons et les stries diluviennes ont
« été creusés, le sol de la Norwège avait occupé un
« niveau aussi bas qu'à l'époque où les argiles bleues
« ont commencé à se déposer, l'instrument qui a si
« énergiquement sculpté beaucoup des îles de la côte
« S. E. aurait fonctionné à une distance du rivage de
« 8 à 12 myriamètres au moins, et sous une nappe
« d'eau de plus de 200 mètres de profondeur. Or,
« cette dernière supposition paraît inadmissible, quel

« que soit l'hypothèse, actuellement émise, que l'on « adopte pour la formation des stries; la vitesse des « courants fluides, qui se précipiteraient dans une « grande masse d'eau en repos, serait bientôt amortie, « et l'action des glaces pourrait difficilement s'exercer « dans de semblables conditions. Dès que l'on admet « que les glaciers ne peuvent avoir produit des stries « à 20 ou 22 lieues du littoral et sous 200 mètres « d'eau, il faut conclure, qu'à la première période du « phénomène erratique, c'est-à-dire lors du creuse- « ment des sillons et des stries, le sol de la Norwège « était plus élevé que postérieurement, quand le dépôt « argileux s'est déposé, et que par conséquent depuis « lors et antérieurement à la période du soulèvement « actuel, la Norwège a subi un mouvement descen- « dant. L'absence, en Norwège et dans la plus grande « partie de la Suède, de terrains compris entre l'époque « de transition et les derniers dépôts tertiaires, bien « que la Scanie et le Danemark renferment des couches « appartenant aux terrains houiller, triasique, juras- « sique, crétacé et tertiaire inférieur, confirmerait en- « core cette idée, qu'à une époque postérieure au « commencement des dépôts tertiaires, la presque- « totalité de la péninsule actuelle était émergée. Ainsi, « dans la supposition que le fait fondamental serait « prouvé, une partie de la Scandinavie aurait subi, à « une époque extrêmement récente, deux mouvements « en sens contraire; chacun d'eux aurait eu une am-

« plitude verticale de 150 à 200 mètres; c'est du reste « un phénomène dont M. Élie de Beaumont a reconnu « la possibilité, dans son rapport sur le travail de « M. Bravais, en disant : des contrées voisines ont été « et sont encore travaillées par des mouvements con« traires, et peut-être une même contrée a-t-elle « éprouvé successivement des mouvements en sens « inverse, comme semblerait l'indiquer la forêt sous« marine de Penzance, si voisine des plages soulevées « de divers points de Cornouailles.

« J'ajouterai, continue M. Daubrée, que dans les « régions les plus rapprochées de la Norwège, en Dane« mark, M. Forchhammer a reconnu, en des lieux voi« sins, des lignes de soulèvement et d'abaissement, qui « auraient eu lieu à une époque récente. C'est un double « mouvement analogue à celui qui a eu lieu, mais sur « une échelle incomparablement moindre, dans une « partie de la côte des environs de Pouzzoles, et dont « les phases sont indiquées par les colonnes du temple « de Sérapis. Enfin, la Scanie, qui est aujourd'hui en « voie descendante, était vraisemblablement, à en juger « par les dépôts modernes qu'on y trouve, couverte « par la mer lors du phénomène diluvien; depuis lors, « il y a donc eu d'abord soulèvement, au moins jus« qu'à la hauteur actuelle de cette province au-dessus « de la mer, puis est survenu le mouvement descen« dant dans lequel elle se trouve actuellement; seu« lement, cette région méridionale a subi ces deux

« mouvements, en sens inverse de ceux du reste de « la Scandinavie, de même que, selon la comparaison « de M. de Beaumont, dans une planche, faisant bas- « cule, chacune de ses extrémités monte et descend « alternativement; ce double mouvement de bascule a « eu lieu autour d'un axe situé au nord de la Scanie. »[1]

Personne ne conteste maintenant l'influence d'un ou de plusieurs soulèvements dans la dispersion des terrains erratiques du Nord; mais la cause des stries, des sillons ou *karren*, l'alignement des *osars*, sont encore les sujets de discussions quelquefois très-vives, et d'où jaillira bientôt, nous n'en doutons pas, la véritable explication du phénomène erratique polaire.

Dans un travail récent, M. Desor a développé avec beaucoup de talent non l'identité absolue, mais la grande analogie qui existe entre le phénomène erratique polaire et les mêmes effets produits dans les Alpes. Personne ne pouvait mieux que lui en apprécier les différences et les rapprochements.

Il reconnaît que la fonte des glaces s'est effectuée d'une manière lente et graduelle, que les glaciers ont dû séjourner plus longtemps dans les vallées et les dépressions du sol, et que leur action a dû y laisser des traces plus profondes et plus indélibiles qu'ailleurs.[2] Il a reconnu que les stries de la Scandinavie, comme

---

1 Bulletin de la Société géolog. de France; tome XIV, p. 574.

2 *Idem*, 2.e série, tome IV, page 188.

celles des Alpes, forment un système unique qui rayonne dans toutes les directions, tout en présentant des déviations locales considérables.

« Enfin, une dernière analogie entre la Scandinavie « et les Alpes suisses, qui n'avait pas encore été signa- « lée jusqu'ici, c'est l'existence d'une limite supérieure « des polis. J'ai montré ailleurs, dit M. Desor, que « dans les Alpes cette limite ne dépasse guère 3000 « mètres. On la voit s'abaisser d'une manière graduelle « le long des flancs des vallées, à mesure que l'on s'é- « loigne des grandes cimes qui entourent les origines « des glaciers; mais son inclinaison est plus faible « que celle des vallées, et, à bien plus forte raison, « que celle de la surface des glaciers actuels. Elle se « trahit facilement à l'œil exercé, par les contrastes de « forme auxquels elle donne lieu. Toutes les cimes qui « s'élèvent au-dessus de cette limite, sont profondé- « ment disloquées et dentelées, tandis que leurs flancs, « au-dessous de cette même limite, sont arrondis et « polis. Il est une foule d'endroits dans les Alpes où « le contraste est si frappant, que des géologues, d'ail- « leurs fort habiles, l'ont attribué à une différence « dans la nature de la roche. Des contrastes pareils « entre les sommets dentelés et les bases arrondies, ont « été observées par M. Siljestroem sur les flancs du « Suletinden, dans le Doverfield. M. Keilhau, de son « côté, m'a assuré avoir remarqué le même phéno- « mène aux Jotun-Fjeldene et dans les Nordlanden

« (Norwège). Les sulcatures ne sont pas en général « très-bien conservées dans ces régions supérieures; « cependant M. Keilhau a vu des stries jusqu'à 1800 « mètres de hauteur, sur le plateau entre Holingdalen « et Hardanger, et l'on sait que M. Siljestrœm en a « observé sur les flancs du Schneehättan, à l'altitude « de 1234 mètres. Il est probable que cette limite « coïncide, comme en Suisse, avec le niveau supérieur « des débris erratiques, et l'on ne doit pas s'attendre « à trouver des blocs étrangers au sol au delà de cette « limite. Cependant l'on ne possède pas encore des « observations précises sur ce point important. Ce qui « paraît hors de doute, c'est que l'agent qui arrondit « le flanc des montagnes, est le même qui a tracé les « sillons. De même qu'en Suisse, ces formes balonnées « ne sont donc pas l'effet pur et simple de la structure « des granits, car autrement on ne concevrait pas « pourquoi les sommets seraient dentelés, passé une « certaine limite de hauteur, qui est évidemment une « limite climatologique. »[1]

M. Alex. Brongniart est le premier qui ait appelé l'attention des géologues sur la direction très-remarquable des *osars* ou *sandosars* de la Suède; il a reconnu que toutes les collines composées de sables et de blocs

---

1 Notice sur le phénomène erratique du Nord comparé à celui des Alpes, par M. Desor. Bulletin de la Société géol. de France, 2.e série; tome IV, page 189.

erratiques, souvent arrondis, suivaient une direction commune, et que les débris dont elles étaient formés, descendaient de la chaîne scandinave; leur direction constante est du N. N. E. au S. S. O. Sur une étendue très-considérable et avec un parallélisme remarquable, leur largeur et leur hauteur sont exactement les mêmes. « Ce ne sont pas, dit l'illustre savant dont nous em« pruntons les paroles, des buttes de sables à la suite « les unes des autres, mais ce sont de véritables traî« nées de matières de transport, dont la crête est « tellement de niveau, que dans un grand nombre de « cas, on a placé la route sur cette crête, comme sur « une chaussée de sable qu'on eût fait exprès.[1]

« Ces traînées ou chaussées de matière de transport « ressemblent assez bien à ces petites collines de sable « qui se forment dans les cours d'eau, au-dessous et « pour ainsi dire à la queue d'un corps solide, qui « modifie le mouvement de l'eau, et comme cela s'ob« serve à la suite des grosses pierres qui se trouvent « dans le fond des rivières, et encore mieux à la suite « des piles des ponts, etc. »

Après cette description d'une remarquable lucidité, on peut, en admettant l'hypothèse des anciens climats solaires, voir dans la formation des oses, l'action des courants sous-marins, qui périodiquement se renou-

---

1 Alex. Brongniart, Sur les blocs et les terrains de transport de la Suède. Annales des sciences natur.; tome XIV, page 14.

velaient lors de la saison des pluies ou de la fonte des grandes quantités de neige accumulées sur les Alpes scandinaves; quelques masses de glaces flottantes, ramenées vers le fond par les blocs dont elles étaient chargées, formaient la tête de ces collines, ralentissaient le mouvement des eaux, et leur permettaient de déposer au delà les sables, les graviers et tous les matériaux dont elles étaient chargées.

Ces oses datent probablement de l'époque tertiaire, période pendant laquelle la majeure partie de l'Europe était encore submergée, et où les mers boréales s'étendaient depuis la base de la Scandinavie jusque sur ses plaines immenses aujourd'hui émergées.

Ne pourrait-on pas aussi expliquer leur origine, en les considérant comme les crêtes nivellées de cordons littoraux, analogues à ceux que M. Élie de Beaumont a si bien décrits, comme se formant encore sur les rivages de l'Adriatique, et que les soulèvements séculaires du nord de l'Europe auraient successivement élevés au-dessus des eaux?

La Suède et la Norwège qui, d'après quelques traditions, formaient encore une île il y a 2500 ans, étaient un vaste port où s'embarquaient pour tout le nord de l'Europe ces milliers de blocs erratiques, emportés sur des glaces flottantes, et d'où descendaient, entraînés par des courants, les immenses débris qui ont formé les oses et les couches alluviennes qui entourent la Baltique.

L'opinion de MM. Murchison, de Verneuil et Keyserling sur la formation des terrains de transport du nord, se trouve tout à fait en rapport avec nos idées à cet égard. Dans une note soumise à l'Académie des sciences, M. Murchison fait d'abord remarquer le contraste qui existe entre les détritus superficiels de la Scandinavie et de la Russie d'Europe, et ceux des monts Ourals et de la Sibérie. Dans les premiers, les blocs provenant de la chaîne scandinave ont été répandus excentriquement sur des parties très-éloignées de l'Europe; dans les autres, tout le terrain de transport ou *diluvium* est local; et de là les auteurs infèrent que des parties considérables de la Scandinavie et toute la Russie d'Europe, ainsi que beaucoup de parties du nord de l'Allemagne, étaient couvertes par les eaux de la mer, tandis que des étendues considérables du sol de la Sibérie étaient au-dessus de son niveau. Les points extrêmes jusqu'où les blocs de la Scandinavie ont été transportés, atteignent 11 à 1300 kilomètres du lieu de leur origine. Le terrain de transport (*drifs*) a cheminé par bandes séparées ou *coulées*, qui, ayant traversé des collines et des régions ondulées, éloignées de toutes montagnes, ne peuvent, suivant les auteurs, avoir été mises en mouvement par l'action de la glace, agissant sur une surface terrestre. Les auteurs établissent une distinction marquée entre le *drifs* formé de matériaux roulés, de graviers de sable et de blocs (*osar* des Suédois), auquel ils attribuent

l'usure, le polissage et le striage des roches sous-jacentes, et les gros blocs erratiques anguleux non usés, qui reposent sur la surface du premier dépôt; ces gros blocs anguleux ayant été par hypothèse transportés jusqu'à leur gisement actuel sur des radeaux de glace, à une époque où les régions qui en sont aujourd'hui couvertes, se trouvaient sous les eaux de la mer. [1]

Les importantes observations de M. Alex. Brongniart, sur les sulcatures des Alpes scandinaves, ont été récemment reproduites avec de nouveaux détails par M. Durocher. Les descriptions données par ces savants, ne s'accordent pas toujours avec le polissage des roches alpines.

Selon M. Durocher [2], « ces canaux sont étroits, pro-« fonds, à parois polies et striées, de dimensions un « peu variables, ayant les uns de 25 à 50 centimètres « de largeur, sur une profondeur de 1^m,50 à 2 et 3 « mètres; les autres de 1 à 2 et 3 mètres de largeur, « et une hauteur qui varie de 1^m,50 à deux et même « à trois fois la largeur; on voit en outre beaucoup de « canaux cylindroïdes, passant à de larges sillons, dont « la profondeur est de 0^m,30 à 1 mètre, et la largeur « à peu près la même. Parmi ces canaux, il y en a de « rectilignes, mais beaucoup d'entre eux sont forte-

1 Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences; t. XXI, page 1169.

2 *Idem, ibidem,* page 1158.

« ment ondulés, ou serpentent en présentant des « sinuosités très-rapprochées; souvent ils se bifur- « quent, se divisent en plusieurs branches qui se « réunissent un peu plus loin. L'axe de ces canaux et « les stries que l'on y voit à l'intérieur, ont la même « direction générale que les sulcatures de la contrée « environnante; il est évident que tout cela dépend « d'un même phénomène. J'ai observé ces caractères « sur des roches très-différentes, sur plusieurs espèces « de granit, sur la siénite zirconnienne, la diorite, et « aussi sur des roches schisteuses, gneiss, micaschiste « et schiste amphibolique.

« Un autre caractère très-important, et que j'ai « observé, continue M. Durocher, dans beaucoup d'en- « droits en Suède et en Norwège, c'est l'existence de « stries et de sillons sur des parois surplombantes, « dont l'inclinaison à l'horizon varie depuis 90 jusqu'à « 20°; et les sulcatures ne sont pas marquées seule- « ment près de l'arête arrondie des parois surplom- « bantes, mais elles s'étendent au-dessous de cette « arête, jusqu'à une distance de quelques mètres. »

Personne ne croira, nous le supposons du moins, que des canaux rameux et aussi profonds soient l'ouvrage des glaces. On admettra sans doute avec M. Durocher que des eaux chargées de sables et de débris ont pu creuser ces sillons, mais non les buriner au moyen des grains anguleux qu'elles entraînaient. Quoique nous accordions à la glace, plus que beaucoup

de géologues ne sont disposés à le faire; nous regardons aussi les courants d'eau prolongés comme capables d'actions très-énergiques, et nous en trouvons des preuves partout et même dans les Alpes. Ainsi, quoique peut-être et très-probablement un glacier très-considérable soit descendu du Simplon, par la vallée d'Isella, on ne peut nier l'action du torrent actuel, qui a creusé son lit très-profondément, qui a poli toutes les surfaces de la roche et a formé dans plusieurs points des canaux sinueux, semblables à ceux que M. Durocher indique des deux côtés du golfe, qui forment les extrémités méridionales de la Norwège et de la Suède, et qui existent aussi sur les petites îles qui bordent les rivages.

Ce qui dans ces parages vient encore confirmer l'action puissante et longtemps prolongée de cours d'eau, c'est l'étude des dépôts diluviens.

« Ces dépôts, dit M. Durocher, n'affectent pas tou-
« jours la forme d'entassement confus de matériaux de
« toutes grosseurs; dans certaines parties de la Suède,
« et principalement, ce qui est assez remarquable,
« dans les régions élevées, dans la Dalécarlie, l'Hel-
« singlande et le Jemtland, on remarque d'immenses
« plaines, ou des plateaux très-unis, presque tout à
« fait horizontaux, formés de débris diluviens. Tantôt
« ces débris offrent un mélange de sables, de graviers
« et de cailloux; tantôt ils consistent en sable très-pur
« et très-fin, sans graviers et identique au sable des

« rivages de la mer; mais ils présentent fréquemment « des blocs erratiques, soit à la surface, soit à l'inté- « rieur. De plus, on peut reconnaître que ces deux « genres de dépôts, l'un de détritus divers, l'autre de « sables purs, forment des zones alternatives qui se « succèdent, en offrant une espèce de stratification « grossière et très-ondulée. Si l'on examine de près la « nature du sable, on voit qu'il est formé principale- « ment de grains de quartz accompagnés d'un peu de « feldspath et de paillettes micacées.

« La présence de ces dépôts arénacés et la nature « de ce sable, rendent évidente l'action des eaux; car « on n'a jamais vu de moraine de sable pur, et l'on ne « saurait attribuer aux glaciers la faculté d'opérer le « triage des matériaux qu'ils transportent et d'en élimi- « ner le feldspath et le mica en y conservant le quartz.

« L'action de courants d'eau dans le phénomène « erratique de la Scandinavie, me paraît donc être un « fait incontestable; plusieurs points seulement sur « lesquels je reviendrai plus tard, peuvent être l'objet « de discussions. Le phénomène a-t-il été instantané, « ou a-t-il duré un certain temps? Est-ce un phénomène « simple ou complexe? Quelle est la cause de l'énorme « puissance qui a été en jeu? Quelle a été l'origine ou « le point de départ? Ce sont là des questions dont je « ne dois pas en ce moment tenter la solution.»[1]

1 Durocher, Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXI, page 1158.

Tout en regrettant que M. Durocher n'ait pas voulu tenter de donner la théorie des faits qu'il a si bien vus et si bien décrits, nous ferons remarquer que, dans notre hypothèse des climats solaires, ils s'expliquent tout naturellement par l'action des pluies diluviennes et l'accumulation hivernale de très-grandes quantités de neige sur les Alpes scandinaves, et par leur fusion périodique en raison des longs jours d'été de cette contrée. Il est impossible qu'un phénomène de ce genre ait été instantané; le temps seul creuse les sillons et réduit les granits et les autres roches quartzeuses et feldspathiques en sables et en graviers. Des alternatives dans le transport peuvent seules imprimer les mêmes caractères aux dépôts; un soulèvement postérieur a pu mettre à découvert des sédiments que l'eau avait nivelés, et soulever en même temps des blocs qui avaient flotté enchâssés dans des glaces, et qui, bientôt après leur départ, étaient tombés privés de leur flotteur.

C'est aussi à l'action de l'eau que M. Robert attribue ces sillons; mais à l'eau de la mer qui, dans les tempêtes venant battre les rivages aurait désagrégé la roche dans les points où elle présente moins de dureté et l'aurait *sulcaturé* au moyen des sables et graviers violemment chassés dans ces conduits. Ces sillons ont paru à M. Robert correspondre à des filons plus faciles à désagréger que le reste de la roche[1]. Si telle est

1 Compt. rend. d. séances de l'Acad. d. scienc.; t. XXI, p. 1334.

l'origine de ces *karren,* notre théorie n'y est nullement applicable.

Si, comme le pense M. Agassiz, l'eau avait seule creusé les canaux sinueux, si communs sur les roches de la Scandinavie, et que la glace les ait burinés[1], il faudrait bien admettre que le burinage n'est venu qu'après le creusement, et au moyen de la théorie glaciaire, il devient difficile d'expliquer l'antériorité de l'excavation des sillons; car ce n'est qu'à la fonte de la prétendue calotte de glace que l'érosion aurait pu commencer, et les eaux devraient avoir détruit, selon lui, toutes les stries existantes. Tandis que, si l'ancienneté de la chaîne scandinave permet d'y appliquer l'action périodique, si souvent répétée d'énormes assises de neige qui fondaient à chaque printemps pour se reproduire tous les hivers, on y trouvera certainement un agent capable de creuser les *karren,* et, si l'on ne veut pas donner aux graviers entraînés par l'eau qui a formé ces canaux, le pouvoir de les rayer et de les strier, on pourra, si l'on y tient, l'attribuer aux glaciers qui, postérieurement à cette époque reculée, mais antérieurement à la nôtre, ont dû se développer sur une très-grande échelle, sous une latitude aussi haute et sur des montagnes soumises à de si grandes variations de température.

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXI, page 1331.



Ces sillons que l'on observe sur les pentes et les plateaux de la chaîne scandinave et que plusieurs géologues comparent, avec raison, à des effets analogues, mais moins développés dans les Alpes, ont été observés et décrits très-soigneusement par M. Alex. Brongniart. Ce savant les considère comme ayant servi de passage aux matériaux qui étaient entraînés pour former les oses ; ils sont polis partout où ils sont abrités par de la terre, et dépolis, quand ils sont restés longtemps au contact de l'atmosphère. Notre théorie donne au moins la facilité d'expliquer leur origine par la présence des glaces qui les couvraient à une époque reculée, ou par l'action des eaux et des débris qui provenaient de leur fusion.

Il y a évidemment dans le phénomène erratique du Nord, deux ordres de faits entièrement différents : les sillons plus ou moins sinueux ou *karren*, striés à l'intérieur ou non striés, mais évidemment creusés par l'eau pure ou chargée de débris ; et les roches polies avec stries, placées généralement beaucoup plus haut, et qui doivent provenir, comme dans les Alpes, d'anciens glaciers qui n'existent plus. Nous rapporterions à cette dernière série de faits « les lignes droites, simples, fortement buri- « nées, exactement parallèles entre-elles, se conti- « nuant sur une longueur considérable de deux à « trois mètres sans s'interrompre et sans changer de « direction » que M. Schimper a observées dans son

voyage en Suède et qu'il attribue aussi à l'action de la glace.[1]

M. Durocher cite des surfaces de rocher polies et sillonnées au sommet de la montagne de Raipas et sur le haut plateau de la Laponie norwégienne à 830 mètres au-dessus du niveau actuel de la mer; nous pensons aussi que ces stries doivent leur origine aux glaciers.

On conçoit, du reste, toute la réserve que nous devons mettre à parler de faits que nous ne connaissons que par les écrits des savants géologues qui les ont observés, et l'on nous pardonnera, pour cette raison, d'avoir substitué leurs propres expressions aux nôtres, qui ne pouvaient avoir aucune autorité dans cette grande question.

Quelle que soit, d'ailleurs, l'opinion que l'on adopte, on pourra toujours trouver la cause des stries glaciaires et des sillons creusés par l'eau dans l'accumulation de grandes masses de neige sur les Alpes scandinaves, dans l'extension de leurs anciens glaciers et dans les phénomènes de fusion périodique qui ont dû les accompagner, et surtout les précéder à une époque où la totalité de la neige hivernale devait fondre pendant chaque été. Il faut se rappeler, que l'époque glaciaire ou erratique, n'est pas le fait de quelques

1 Lettre à M. Élie de Beaumont. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXII, page 43.

années de modification dans le climat, mais une très-longue période, pendant laquelle les actions destructrices de l'eau provenant de la fonte des neiges, et la force prodigieuse de glaciers étendus, ont imprimé aux régions polaires et aux montagnes des zones tempérées des caractères ineffaçables, dont les premiers, tracés depuis l'époque tertiaire, se lient sans interruption à ceux qui maintenant sont tous les jours écrits sous nos yeux.

Le soulèvement ancien de la chaîne scandinave a dû permettre l'accumulation des neiges dès que les alternatives de saisons se sont manifestées sur la terre. C'est à cette cause et à l'élévation assez grande de ces montagnes sous un climat aussi septentrional, à sa position insulaire au milieu de mers immenses, qu'il faut attribuer la grandeur et l'étendue des phénomènes erratiques du Nord.

M. Murchison a mis hors de doute l'ancienneté de ces Alpes du Nord, en reconnaissant « que les roches « paléozoïques les plus anciennes (*siluriennes et dévo-* « *niennes*), avaient seules été relevées. »[1]

Il est bien difficile d'admettre un immense courant polaire, auquel M. Durocher paraît attribuer les stries et les sulcatures des régions du Nord. La constance de direction moyenne qu'il a observée dans un grand

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXI, page 1170.

nombre de localités ne se retrouve plus dans les montagnes de la Norwège, où M. Daubrée a reconnu que les traces de transport et de frottement, divergent à partir des régions culminantes en se rapprochant des lignes des plus grandes pentes du massif.[1]

Il est, du reste, probable que les phénomènes de transport du Nord, des Alpes, des Pyrénées et de toutes les autres localités ont été produites par des causes analogues, longtemps continuées, mais qui ont pu être modifiées par quelques accidents particuliers.

L'idée d'un grand courant d'une direction constante et venant du pôle, ne peut être reçue pour expliquer le polissage, l'usure et le striage des roches de la Scandinavie; c'est dans la chaîne même de ces montagnes qu'il faut en chercher la cause. M. Sefstrœöm a distingué sur les roches et les collines le côté *choqué* et le côté *abrité*. « Or, nous trouvons généralement, dit « M. Bœhtlingk, que le côté choqué des rochers est « tourné vers les plateaux principaux de ces contrées. « C'est de ces plateaux que paraît être partie l'impul- « sion qui a déterminé la direction du transport des « corps qui ont creusé les stries. »[2]

Quelle que soit la contrée où se présente le terrain

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XVI, page 329.

2 Lettre à M. Élie de Beaumont. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XII, page 1225.

de transport, on reconnaîtra toujours que sa disposition rappelle, ou des glaces rayonnantes, à partir des points les plus élevés, ou des courants qui ont le même point de départ et qui divergent en suivant les vallées; faits qui peuvent toujours s'expliquer par l'accumulation de très-grandes quantités de neige et par leur fusion où leur transformation en glaciers.

M. Bœhtlingk cite ensuite dans le même mémoire des faits de dénudation et de morcellement, qui ne peuvent laisser aucun doute sur l'action très-longtemps prolongée des eaux qui descendaient de la chaîne scandinave.

Les observations de M. Castelnau et celles de quelques autres voyageurs, en nous faisant connaître l'immense étendue du terrain erratique de l'Amérique septentrionale, doivent nous faire supposer que ce sol de transport a été formé en grande partie, comme celui du nord de l'Europe, sous les eaux d'une mer peu profonde, dont le fond aurait été postérieurement soulevé; mais il reste encore à connaître quelles seraient les montagnes ou les points culminants qui auraient fourni cette énorme quantité de débris qui, restitués aux sommités dont ils ont été détachés, devraient leur donner une bien grande élévation.

Terrain du pôle sud.

Le terrain erratique de l'hémisphère méridional est aussi très-développé, et paraît, comme les glaciers de

ces contrées, se rapprocher davantage de l'équateur. Plus on avance vers le sud, plus les cailloux augmentent de grosseur, et ils finissent par passer aux blocs erratiques.

Ces blocs, répandus en grande abondance sur l'extrémité australe du continent américain, comme sur son extrémité boréale et sur celle de l'Europe, n'ont pu être observés par M. d'Orbigny; mais ils ont fourni une foule d'observations curieuses à M. Darwin. Le point le plus septentrional où ce dernier voyageur les ait observés, dans les plaines de la partie orientale de l'Amérique méridionale, est sur les bords de la rivière de Santa-Cruz, par 50° 10 de latitude sud; latitude correspondante à celle où le phénomène des blocs erratiques provenant du nord devient beaucoup moins intense dans l'hémisphère boréal. Les blocs erratiques ne se trouvent pas en Patagonie près de la côte; ils n'ont été remarqués, en remontant la rivière de Santa-Cruz, qu'à 18 myriamètres des rivages de l'Atlantique, et à 12 myriamètres au sud des Andes, dans la partie la plus rapprochée; ils sont formés de schistes argileux compactes, de roches feldspathiques, de schistes chloritiques très-quartzeux et de laves basaltiques. Leurs formes sont généralement anguleuses et leurs dimensions souvent gigantesques.[1]

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XVII, n.° 9, 28 août 1843, page 399.



Les glaciers descendent jusqu'à la mer sous des latitudes de 45 à 46°.

Suivant M. de Buch, le point le plus méridional où, en Europe, les glaciers atteignent cette position, est en Norwège sous le 67.e degré de latitude nord.[1]

D'un autre côté, M. Darwin[2] a constaté que dans l'Amérique du sud, ce même point se rencontre sous des latitudes situées à plus de 20° plus près de l'équateur qu'en Europe; au Chili, par exemple, où, dans le golfe de Penas, la latitude est de 46°,40, comme dans la France centrale, et dans le golfe de sir George Eyre, dont la latitude correspond à celle de Paris. Dans ces diverses régions les glaciers atteignent la mer et donnent naissance à des champs de glace, que l'on a vus, en 1834, emportant avec eux des blocs de granit angulaires, qu'ils abandonnaient dans des *fiords* dont les rivages étaient composés de schistes argileux.[3]

Si de tels faits peuvent maintenant être observés sur certaines parties du globe à une latitude aussi basse, on conçoit facilement la possibilité de l'extension des glaciers sous cette même latitude dans nos climats. Il suffit d'admettre la chute d'une plus grande quantité d'eau, et une élévation de température ne sera pas un obstacle pour l'avancement des glaciers.

---

1 De Buch, Voyages en Norwège.

2 *Darwin's journal;* page 283.

3 *Idem, ibidem.* (Lyell, Principes; tome II, page 81. Trad.)

« Mais ce qui est aussi extraordinaire, c'est que dans « l'île de Géorgie, dont la latitude sud de 54° répond « au parallèle du Yorkshire, la ligne de neiges perpé- « tuelles s'abaisse jusqu'au niveau de l'Océan. Or, quand « on considère ce fait et qu'on se rappelle que les « plus hautes montagnes de l'Écosse, qui ont plus de « 1500 mètres d'élévation, et qui sont à 4° plus loin « de l'équateur que l'île de Géorgie, n'atteignent pas « le niveau des neiges perpétuelles du côté nord de la « ligne, il devient évident que la latitude n'entre que « pour une assez faible part dans les causes nombreuses « et puissantes qui concourent à déterminer le climat « de certaines régions du globe.

« Dans l'exemple que nous venons de citer, conti- « nue M. Lyell, la permanence des neiges dans l'hé- « misphère sud est due en partie aux glaces flottantes, « qui refroidissent l'atmosphère et condensent les va- « peurs, au point qu'en été même le soleil ne peut se « faire jour au travers de l'air brumeux qui résulte de « cette condensation. Mais l'abondance des glaces dont « la mer est couverte au sud de l'île de Géorgie et « de la terre de Sandwich, n'est pas probablement, « ainsi que le donne à entendre M. de Humboldt, la « seule cause notable du froid intense qui règne dans « ces deux contrées; il est à croire que l'absence de « terres, que l'on remarque entre elles et les tropiques, « doit y contribuer pour beaucoup aussi. »[1]

1 Lyell, Principes de géologie. Traduction, tome I, p. 276.

Il peut se faire que l'absence de terres contribue en effet, dans cette partie du monde, à l'intensité du froid; on peut admettre aussi que les glaces flottantes ne sont pas sans action sur la température; mais, au lieu de nier la grande influence de la latitude et de la subordonner à des causes que nous considérons comme accidentelles, ne vaudrait-il pas mieux convenir que dans l'hémisphère sud le froid est plus intense que dans la demi-sphère qui lui est opposée? Et ne pourrait-on pas expliquer cet abaissement de température par la chute en hiver d'une quantité de neige plus grande que celle qui tombe dans l'hémisphère nord? Car on sait que la présence de la neige est la cause la plus directe du froid; qu'elle refroidit l'atmosphère et qu'elle réfléchit les rayons du soleil. Nos hivers les plus rigoureux ont toujours été ceux où la majeure partie de l'Europe était couverte de neige; et, nous savons très-bien que, si au printemps il tombe sous nos climats une petite couche de neige, la gelée lui succède immédiatement.

Pourquoi, demandera-t-on, peut-il y avoir une plus grande quantité de neige sur les terres de l'hémisphère sud que sur l'autre? il est bien difficile de le savoir; mais il faut remarquer cependant que le globe, depuis les temps historiques, est plus près du soleil pendant l'hiver de nos climats que pendant leur été, et que l'inverse doit précisément avoir lieu pour l'hémisphère opposé. Ses terres se rapprochent du

soleil en été et s'en éloignent en hiver; ce qui doit produire un effet semblable à un accroissement de chaleur solaire dans le premier cas et à un affaiblissement dans le second. Or, les inégalités périodiques de température, quand elles peuvent atteindre leur maximum d'écartement, sont, selon nous, les causes qui peuvent amener d'une part le plus d'évaporation, et de l'autre la condensation la plus grande.

Ces conditions nous semblent plutôt réunies dans l'hémisphère sud que dans le nôtre; elles doivent exister surtout sous les pôles et sur les hautes montagnes, et ce sont principalement autour de ces points que nous trouvons les traces les plus marquées des lavages et des glaciers qui ont dû exister.

Si l'on peut expliquer avec beaucoup de vraisemblance l'origine du terrain erratique du nord, nous ne pouvons guère, du moins pour le moment, appliquer la même théorie aux galets et aux blocs erratiques du Chili décrits par M. Gay.

« Les vallons de l'Hacienda de Cauquenes, dit cet « infatigable et savant voyageur, sont profonds, à « parois escarpées et composées uniquement de ba- « saltes ou de roches analogues; on ne voit pas d'autres « roches à 20 lieues à la ronde.

« On ne connaît ni dans ces vallons, ni à leur « origine, ni dans cette circonscription, aucun banc, « aucun pic, aucune masse de granit en place; et « cependant ces vallons sont remplis, encombrés jus-

« qu'au tiers de leur hauteur, et comme obstrués par « une accumulation immense de galets et de blocs de « granit, accumulation que l'on peut appeler prodi- « gieuse et inconcevable, malgré tout ce qu'on sait, « tout ce qu'on a observé dans tant d'autres contrées « sur les galets ou blocs étrangers aux sols qu'ils re- « couvrent.

« Voilà donc, dit l'illustre rapporteur des travaux « géologiques de M. Gay, le phénomène signalé depuis « quelques années dans toute l'Europe, notamment sur « les bords de la Baltique ; ce phénomène, dont l'ex- « plication a exercé la sagacité de presque tous les « géologues, se représentant d'une manière encore plus « inexplicable dans la partie occidentale de l'Amérique « méridionale, et sur un terrain d'une nature tout à « fait différente de ceux où il s'est montré dans l'Europe « septentrionale. Il remplit ici des vallons de 10 à 12 « lieues d'étendue et fermés de toutes parts par des « collines escarpées, que ces cailloux et blocs ne « semblent pas avoir pu surmonter.

« M. Gay ne trouve dans le pays qu'il a étudié au- « cune explication vraisemblable pour résoudre cette « difficulté. »[1]

La théorie des glaces flottantes et d'un soulèvement

---

1 Alexandre Brongniart, Rapport sur les travaux géologiques de M. Gay. Annales des sciences naturelles ; tome XXVIII, page 397.

ultérieur de toute la contrée, ou le refoulement occasionné par des eaux qu'aurait déplacées un violent soulèvement moderne, comme celui des Andes, nous paraissent, dans l'état actuel de nos connaissances, les seules idées applicables à l'explication de cette curieuse observation de M. Gay.

CHAPITRE XIII.

DU TERRAIN DILUVIEN OÙ ALLUVIEN.

Dès que nous avons considéré les divers étages du terrain de transport comme le résultat d'une longue période géologique, dont le commencement est bien antérieur à l'époque historique, et dont la fin ne peut guère coïncider qu'avec l'extinction du soleil, nous n'avons pu les diviser en anciens et modernes, ou, en un mot, les classer chronologiquement d'une manière certaine; car nous regardons les terrains de transport des pôles comme appartenant à une époque plus ancienne que ceux des Alpes et de la majeure partie de l'Europe. Nous considérons l'action de transport comme agissant à des degrés divers depuis les premières eaux qui sont tombées sur le globe jusqu'aux pluies réduites, qui y descendent de nos jours par l'abaissement de température.

D'après notre manière de voir, les terrains diluviens seraient arrivés insensiblement aux alluvions modernes et contemporaines, en suivant lentement les phases d'un abaissement de la température solaire,

et l'époque erratique, celle pendant laquelle les glaces ont joué un rôle important dans la création de ce terrain, serait intercalée à des âges divers, selon la latitude dans la grande période diluvienne.

Il y aurait eu partout où la configuration du sol pouvait s'y prêter, trois âges successifs, mais continus, sans interruption aucune des dépôts diluviens. Le premier, antérieur aux glaciers; le second, contemporain, et le troisième postérieur. On voit donc que, selon les localités, c'est-à-dire selon la latitude ou la forme du sol, nous assistons à la seconde et à la troisième période, mais que nous avons très-positivement passé la première. Cette manière de voir s'éloigne de l'opinion commune des géologues, qui regardent les alluvions comme appartenant à deux époques distinctes, malgré les difficultés qu'ils éprouvent d'en trouver les limites.

Si cependant on voulait chercher les caractères de l'ancien terrain diluvien qui a précédé l'époque erratique, ou qui peut-être même en a été en partie contemporain, la définition suivante, donnée par l'un de nos plus laborieux et de nos plus savants géologues, M. Leymerie, caractérise parfaitement ce dépôt.

« Une plus grande importance sous le rapport de « l'étendue et de la puissance, et sous celui du vo« lume de certains éléments.

« Un plus grand éloignement des débris qui com-

« posent ces terrains, des roches en place que l'on peut « supposer les avoir fournis.

« La hauteur à laquelle ils parviennent, et qui est « presque toujours, en certains points au moins, très-« supérieure à celle que peuvent atteindre, dans leurs « plus grandes crues, les cours d'eau qui sillonnent « actuellement le fond des vallées.

« L'absence des débris, soit de l'homme lui-même, « soit de son industrie.

« La présence d'ossements d'animaux (notamment « de mammouths) qui n'existent plus, au moins dans « les contrées où l'on trouve leurs restes enfouis. »

Des faits très-curieux se présentent dans un grand nombre de localités où l'on rencontre le terrain de transport. On reconnaît de suite que l'eau, qui en a formé les premières assises, était moins agitée, moins tumultueuse que celle qui a charrié les derniers débris. On voit d'abord des couches de sable, d'argile, de gravier, et par dessus des assises de cailloux roulés, quelquefois assez volumineux.

C'est surtout dans le voisinage des chaînes de montagnes que l'on remarque cette singulière disposition; elle atteste que les premiers dépôts étaient formés par des eaux pluviales dont le cours était à peu près régulier, et qu'à cet état particulier a succédé la débacle périodique de neiges ou de glaciers, qui descendaient chargés des plus gros fragments qu'ils déposaient chaque année.

M. Durocher, dans ses savantes recherches sur la géologie du nord de l'Europe, a très-bien reconnu que la période d'agitation et de tumulte est postérieure aux dépôts réguliers; car il dit : « Ce dépôt de transport constitue une formation géologique non moins « remarquable par ses caractères que les formations « plus anciennes; son épaisseur, qui est très-variable, « paraît atteindre une centaine de mètres dans certaines « parties du nord de l'Allemagne, de la Russie et du « Danemarck; mais son développement principal est « en surface; il s'étend, en rayonnant autour du massif « cristallin des contrées scandinaves, jusqu'aux îles « britanniques, d'une part; de l'autre, jusque vers le « 50.[e] degré de longitude orientale, et du côté du « midi jusqu'au pied des Carpathes, du Riesen- et de « l'Erzgebirge. Un des caractères particuliers à ce terrain « consiste en ce qu'il n'a pas été déposé seulement dans « des contrées basses, dans des bassins, mais il se « montre avec des caractères analogues au niveau même « de la mer, et à une élévation de plus de 1000 mètres « au-dessus, au sein même des régions montagneuses « de la Scandinavie, sur les flancs des rochers, de « même que dans les plaines. Cette circonstance, jointe « à l'absence d'une stratification régulière, à la forme « accidentée de la surface du dépôt et à la présence « habituelle de gros fragments roulés, montre que « les conditions générales de calme et de repos dans « lesquelles s'est effectuée la sédimentation pendant

« les époques antérieures, ont été remplacées, pendant « la période anté-humaine, par des conditions particu- « lières d'agitation et de mobilité. »[1]

L'étude des terrains diluviens de la Suisse vient aussi appuyer cette manière de voir.

Selon M. Necker, le terrain diluvien des environs de Genève se divise en deux parties; il désigne l'étage inférieur sous le nom *d'alluvion ancienne,* et le supérieur sous celui de *diluvien cataclystique.* Le premier est un mélange de sables, de graviers, de cailloux roulés de grosseur variable, disposés en lits horizontaux irréguliers. En général, ce terrain a 24 à 27 mètres d'épaisseur; peut-être une partie de ces roches doiventelles leur origine à des masses de nagelflue décomposées. Le second, ou terrain diluvien cataclystique, repose sur l'alluvion ancienne. M. Necker le nomme ainsi, parce qu'il offre une accumulation de matière, faite sans aucun ordre, et variant pour la grosseur depuis le limon le plus fin jusqu'à des blocs erratiques énormes; ce qui fait présumer qu'il n'y a qu'un cataclysme subit et puissant qui ait pu occasionner un semblable dépôt. Son épaisseur moyenne est de 16 à 20 mètres. La plus grande partie de ce terrain est formé par une glaise grossière, faisant pâte avec l'eau et mêlée de cailloux roulés. Ce *limon d'atterrisse-*

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, t. IV, page 52.

ment ressemble beaucoup au *lœss* des bords du Rhin et au *till* de l'Écosse.

Le *diluvium,* nom qui, d'après M. Necker, désigne l'ensemble des deux étages du terrain diluvien, forme des plateaux dont la surface supérieure est un plan horizontal, percé d'espace en espace par des collines de molasse. Il existe une différence importante dans le gisement des deux étages de ce terrain; car l'alluvion ancienne ne s'élève jamais jusqu'au sommet de ces collines, tandis que l'étage diluvien cataclystique les recouvre presque entièrement d'une couche mince. Il est donc évident : 1.° que la formation entière est postérieure au relèvement du terrain tertiaire (aux environs de Genève); 2.° que les deux étages ont été amenés par deux forces différentes. Cette observation n'est pas la seule qui distingue les deux étages. M. Favre a remarqué que la plupart des cailloux roulés qui font partie de l'étage diluvien cataclystique portent à leur surface des raies ou petits sillons, tandis qu'il n'a jamais trouvé de cailloux rayés parmi ceux de l'alluvion ancienne. Ces derniers sont donc semblables aux cailloux roulés par les eaux, car les eaux polissent les roches en les roulant, et même effacent les raies qui sont à leur surface.

« Tout ce qui précède, joint à des observations sur « la structure torrentielle de l'étage de l'alluvion an- « cienne, et sur la structure irrégulière de l'étage « diluvien cataclystique, porte à croire que le premier

« a été amené par les eaux, tandis que le second a « probablement été transporté par d'autres causes. « Peut-être ce fait fournit-il une nouvelle preuve en « faveur de l'existence d'anciens glaciers, qui autrefois « auraient eu une extension bien plus grande qu'au- « jourd'hui.[1] »

Ces faits s'adaptent parfaitement à la théorie que nous proposons. Action de l'eau d'abord, des glaces ensuite quand celles-ci ont pu se former.

On peut presque toujours rattacher le terrain diluvien des plaines et des collines à l'existence d'anciens cours d'eau, bien supérieurs en volume et en puissance, à ceux qui existent maintenant, mais occupant à peu près les mêmes bassins, sauf quelques changements de lit.

On peut l'expliquer en considérant ces cours d'eau comme sujets à de grandes inondations périodiques, qui étaient d'autant plus étendues, que les contrées étaient plus rapprochées du nord, et qu'elles pouvaient en hiver se charger d'une plus grande quantité de neige; enfin, en reconstituant par la pensée les lieux tels qu'ils étaient avant d'avoir dispersé la majeure partie de leurs matériaux, c'est-à-dire en leur rendant leur hauteur primitive.

---

1 Considérations géologiques sur le mont Salève et sur les terrains des environs de Genève, par Alph. Favre. Bibl. univers.; nouv. série, 9.e année, janvier 1844, page 126.

Les cours d'eau actuels ont érodé et entamé ce diluvium exactement comme un ruisseau qui creuse son lit dans une large nappe de cailloux roulés, qu'un orage vient d'accumuler sur un point.

Enfin, un des caractères les plus saillants de ces terrains, c'est leur espèce de subordination aux chaînes et aux groupes de montagnes, le long desquels ils s'étendent et rayonnent dans tous les sens, accusant ainsi l'ancienne puissance de l'eau liquide ou solide, qui chaque hiver s'accumulait sur les cimes les plus élevées.

Cette dépendance de l'alluvion vis-à-vis des points qui l'ont formée, mais pouvant s'étendre parfois à une très-grande distance, est surtout caractérisée dans le nord de l'Europe, où elle a été bien indiquée par MM. de Verneuil et Murchison. M. Durocher l'a également remarquée. « Il y a, dit-il, des régions où les « blocs erratiques sont beaucoup plus abondants qu'ail- « leurs, et dans les lieux où ces blocs sont très-gros, « très-rapprochés et tous de la même espèce, ils ont été « amenés de petites distances ou n'ont même été que « déplacés; mais il n'en est pas ainsi dans d'autres ré- « gions où il y a des blocs de nature très-diverse et « aussi très-abondants, et formant comme une mo- « saïque, ainsi que je l'ai remarqué près de Falun et « en beaucoup d'endroits, principalement sur les côtes « de la Baltique. D'ailleurs, l'abondance des fragments « erratiques d'une même espèce autour de leur gisement

« originaire, est un fait général, qui n'a pas lieu seu-
« lement en Norwège, en Suède et en Finlande, mais
« aussi au midi de la Baltique; ainsi, dans le voisinage
« des points où affleurent des roches secondaires, du
« calcaire crétacé, par exemple, les fragments arrachés
« à ce terrain prédominent, mais seulement dans un
« cercle circonscrit autour de ces affleurements; car,
« à une certaine distance, là où le roc solide est recou-
« vert par une grande épaisseur du dépôt de transport,
« ce sont les blocs et cailloux formés de granit, c'est-
« à-dire, de la roche la plus répandue en Suède et en
« Finlande, qui redeviennent prédominants. »[1]

Quelques géologues pensent qu'une partie du limon jaune ou rouge, que l'on trouve si souvent avec les cailloux roulés du diluvium, vient de l'intérieur du globe, et a été versée par des issues particulières. M. Leblanc a publié sur ce sujet d'intéressantes observations.[2]

Les diverses parties du terrain diluvien ayant les mêmes causes pour origine, il en résultera nécessairement que les points du globe qui auront le plus favorisé l'accumulation du terrain erratique, seront aussi ceux qui auront le plus contribué à la dispersion des terrains diluviens.

---

1 Durocher, Bulletin de la Société géol. de France; 2.e série, tome IV, page 60.

2 Bulletin de la Société géolog. de France; t. XIII, p. 360.

Les Alpes et les régions polaires se trouvent encore en première ligne; mais on conçoit facilement que le terrain diluvien doit occuper une bien plus grande étendue que les formations erratiques; qu'il a pu s'étendre beaucoup plus loin, et qu'à partir des régions les plus élevées jusqu'aux bassins où ses dernières parcelles se sont déposées et se déposent encore, il a dû laisser partout des traces de son passage.

L'action diluvienne a pour mission de triturer les montagnes et de les étendre sur les plaines.

Le terrain de transport qui a été formé aux dépens des Alpes, se développe des deux côtés de la chaîne sur une immense étendue, et déborde de tous côtés sous le terrain erratique qui est beaucoup plus restreint. Il est composé d'une infinité de cailloux roulés, dans lesquels les quartz dominent, parce qu'ils résistent mieux que tous les autres.

On voit ces terrains dans toutes les larges vallées qui descendent des Alpes, et ils se prolongent surtout dans celles qui sont encore aujourd'hui alimentées par de grands courants, et qui recevaient autrefois des masses d'eau bien plus considérables.

Le Rhin et le Rhône ont couvert au loin de très-vastes plaines de débris, et ces fleuves, ainsi que leurs affluents, ont leur lit creusé dans cet ancien terrain de transport.

M. Leymerie a communiqué à la Société géologique de France, dans sa séance du 15 janvier 1838, des

détails très-intéressants sur le diluvium alpin des environs de Lyon.

« On sait, dit-il, que la partie montueuse des envi-
« rons, et les collines qui entourent immédiatement
« la ville, sont formés d'un terrain de transport entiè-
« rement composé des débris appartenant à des roches
« alpines et reposant immédiatement sur les roches
« primordiales. Le nom de *diluvium* alpin, donné à ce
« dépôt, doit rappeler son origine et la manière dont
« il a été formé, et non une époque géologique; il ne
« doit exprimer par conséquent aucun rapport entre
« le terrain dont il s'agit et ceux que l'on a désignés
« pendant longtemps sous le nom générique de *terrain*
« *diluvien* ou *diluvium*, et que l'on supposait tous
« postérieurs aux derniers dépôts tertiaires.

« Cette propriété du terrain de transport lyonnais
« d'être composé presque exclusivement de roches des
« Alpes et des montagnes ou collines qui joignent cette
« chaîne à la plaine du Dauphiné, son étendue et sa
« position entre les Alpes et la chaîne primordiale du
« Lyonnais, d'une part, et de l'autre son extension
« au sud, dans la vallée du Rhône, le particularisent
« entièrement et l'ont fait remarquer de tout temps
« par les géologues qui ont parcouru ces contrées.
« M. Élie de Beaumont l'a décrit avec grand soin dans
« son mémoire fondamental sur les différentes époques
« de soulèvement des chaînes des montagnes ; on se
« rappelle que c'est entre les deux étages qu'il a dis-

« tingués dans ce diluvium, qu'il a placé le soulèvement « de la chaîne principale des Alpes.

« Les matériaux qui composent ce terrain sont des « cailloux alpins de toute grosseur, et surtout une « quantité énorme de quartzites ; un sable plus ou « moins calcaire, analogue à celui qui constitue la mo- « lasse; de l'argile, des lignites (Dauphiné), et enfin, « des blocs légèrement arrondis, composés principa- « lement de calcaires noirs, gris, blancs, etc.

« Le tout est placé aux environs de Lyon sur la « molasse, en quelques points où celle-ci existe; mais « le plus ordinairement sur le terrain primordial; car « la molasse manque presque partout. Dans la localité « dont il est question, ce terrain paraît avoir été dé- « posé assez confusément et acculé sur le gneiss et le « granit qui forment là des protubérances assez nom- « breuses et assez considérables. Les blocs existent « principalement à la partie supérieure et dans la « partie orientale des collines. Le tout est recouvert « par une alluvion ancienne, composée d'une terre « jaunâtre, à la fois argileuse, calcaire et sableuse ren- « fermant des coquilles terrestres, analogues à celles « qui vivent actuellement sur les lieux.

« Le transport de cette masse confuse de cailloux, « de matières terreuses et sableuses, et surtout des « blocs, annonce une action violente dirigée de l'est à « l'ouest; mais, d'un autre côté, la présence de lignites « avec coquilles fluviatiles, et de couches régulières de

« matières ténues dans les parties les plus centrales, « semble indiquer un dépôt tranquille. »[1]

« La vallée entière de Chambéry, dit Monseigneur « Billiet, a été remplie par une alluvion qui provenait « évidemment des Alpes : il a fallu un courant im- « mense pour la combler. »

Dans le fond de toutes les vallées et sur les plateaux les moins élevés du Jura gît un puissant terrain de transport, composé de blocs arrondis de toutes grosseurs, de cailloux roulés, de marnes et de travertins; les blocs et les cailloux roulés proviennent tous des montagnes voisines, excepté dans les vallées qui viennent déboucher dans le bassin du lac Léman et la vallée du Rhône, où l'on trouve des fragments des roches alpines, qui sont si nombreux, sur tout le versant oriental du Jura.[2]

Les Pyrénées ont produit, comme les Alpes, leur diluvium qui leur appartient en propre.

D'après M. Lartet, il y aurait eu dans les Pyrénées deux inondations successives : la première, quoique douée d'une impétuosité moins torrentielle, à en juger par le peu de volume des graviers qu'elle charriait, paraît cependant avoir recouvert le pays d'une manière plus générale et plus uniforme. Ces graviers se montrent, en effet, sur des points élevés et n'ont point

---

1 Leymerie, Bull. de la Soc. géol. de France; t. IX, p. 110.
2 Rozet, *idem;* tome VI, page 195.

atteint les cailloux roulés du dernier diluvium; il arrive quelquefois que les deux formations de transport sont directement superposées et qu'elles semblent se confondre ; mais, dans d'autres circonstances, elles sont géognostiquement séparées par des bancs réguliers de calcaire marneux ou de grès. Ainsi, nul doute qu'il ne se soit écoulé un très-long temps entre ces deux grandes inondations.

« Je n'ai jamais observé le moindre vestige d'ani-« maux fossiles dans les formations qui répondent à « cette époque intermédiaire, non plus que dans les « matériaux du dernier diluvium.

« Au demeurant, il est aisé de reconnaître que les « matériaux de ces deux diluviums, aussi bien que « ceux dont se composent les formations successives « d'alluvion et d'atterrissement de nos terrains ter-« tiaires, sont descendus des Pyrénées, dont la masse « et la hauteur ont dû être bien autrement considé-« rables qu'elles ne le sont aujourd'hui. Il n'y a rien « qui puisse se rattacher à l'idée d'un prétendu déluge « universel ; tout démontre, au contraire, que la série « de ces diverses formations géologiques jusqu'à nos « jours, s'est développée uniquement sous l'influence « directe du phénomène pyrénéen. »[1]

M. Paillette a fort bien reconnu que les grandes

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XX, page 318.

masses de terrain diluvien de la plaine de Perpignan ont été produites par plusieurs causes, agissant en même temps, ou à des époques distinctes les unes des autres, mais qu'elles ne semblent pas le résultat d'une seule action.[1]

Toute la plaine de Toulouse paraît recouverte par le diluvium des Pyrénées.

Un grand atterrissement diluvien occupe aussi le fond de toutes les vallées des Vosges, et s'élève même jusqu'à une grande hauteur sur les flancs des montagnes; « ses matériaux, dit M. Rozet, appartiennent « toujours aux roches qui constituent les montagnes, « sur le flanc et au pied desquelles il gît; en sorte « que sa nature change avec les localités. Il renferme « beaucoup de blocs erratiques, dont quelques-uns « sont très-gros, qu'on trouve aussi dispersés sur les « montagnes de toutes les formations, jusque dans le « voisinage des sommets les plus élevés; ils paraissent « avoir été arrachés aux roches qui constituent ces « sommets avec lesquels ils sont identiques. Un fait de « la plus haute importance, c'est que l'atterrissement « diluvien se trouve sur les deux versants de la chaîne « à peu près à la même hauteur, et qu'il s'étend ensuite « jusqu'à une grande distance dans les plaines qui la « bordent au S., à l'E. et à l'O. Les matériaux qui le

1 Bulletin de la Société géologique de France; tome XIII, page 234.

« composent sont partis de la crête et vont en dimi-« nuant de grosseur à mesure qu'on s'en éloigne.

« Les éruptions basaltiques de la côte d'Essay, d'autres « points des Vosges, et celles du Kaiserstuhl, dans le « Brisgau, sont contemporaines de l'atterrissement di-« luvien. Dans les marnes et les graviers diluviens de « la plaine du Rhin on a découvert des débris de rhi-« nocéros et d'éléphants. »[1]

Un dépôt de sable, analogue à celui que charrie aujourd'hui la Seine, stratifié, contenant des débris de toutes les roches que traverse la rivière, des blocs de grès, de meulières, etc., couvre la plaine de Charenton, une partie du bois de Boulogne jusqu'aux Batignolles et la plaine de Vincennes : c'est le vrai diluvium parisien.

Presque toutes les plaines sont couvertes d'anciens terrains de transport que les eaux actuelles ne pourraient jamais atteindre, et cette formation se retrouve partout. Il est peu de localités où elle présente plus d'intérêt que sur l'île primitive de la France centrale et sur ses bords. Là, on peut en quelque sorte suivre l'action diluvienne depuis une époque très-reculée. On voit le creusement d'une infinité de petites vallées opéré par l'action longtemps prolongée des eaux atmosphériques ; on suit la décomposition des mica-

---

1 Rozet, Bulletin de la Société géologique de France ; t. IV, page 140.

schistes et l'enlèvement de leurs masses de quartz. On les voit descendre, s'arrondir, diminuer de volume, et arriver dans les plaines et dans les vallées; mais quand on étudie dans le midi de la France ou en Auvergne le diluvium, étendu presque partout sur des épaisseurs très-inégales, on voit qu'il a fallu des cours d'eau bien plus grands que ceux qui existent actuellement, pour transporter et étendre une si grande quantité de débris.

Chaque contrée a donc son diluvium particulier, et qui vient évidemment des points qui dominent ou qui dominaient autrefois. Quand l'étude minéralogique des cailloux alluviens aura été faite partout avec soin, chaque diluvium local viendra se rattacher à des localités connues, bien déterminées, mais souvent très-éloignées des lieux où leurs débris se seront arrêtés.

Il existe vers les régions polaires un dépôt extrêmement puissant de terrain diluvien, qui sur une très-grande étendue est confondu avec ce terrain erratique dont nous avons déjà parlé. Il accuse une action extrêmement prolongée, et tout porte à croire qu'il s'est déposé sous les eaux de la mer.

On trouve dans ce diluvium des coquilles marines très-bien conservées, appartenant presque toutes à des espèces vivant encore aujourd'hui dans les mers du nord. D'un autre côté, on observe souvent dans ce terrain une stratification très-régulière, qui prouve que les matériaux de transport qui le composent, ont

été amenés ou du moins déposés par des courants peu rapides. Il est probable que ces courants charriaient périodiquement des débris sur le bord d'une mer peu profonde, et que les coquilles étaient immédiatement ensablées. Il a dû résulter de cette immense formation diluvienne, l'abaissement des sommets ét des vallées où tous ces matériaux ont été arrachés, et l'exhaussement du fond de mer qui les recevait.

Indépendamment de cet immense diluvium du nord, on trouve aussi dans les mêmes contrées, mais surtout en Suède, cette multitude de collines allongées, placées toutes sensiblement dans la même direction, et dont les pentes douces d'un côté sont plus abruptes de l'autre. On les désigne sous le nom d'osars, et déjà nous nous en sommes occupés un peu plus haut; elles sont composées de débris, de sables, de cailloux enlevés aux terrains préexistants. Quelques géologues les considèrent comme des moraines, tandis que d'autres n'admettent pas qu'elles font partie du terrain erratique, mais du sol diluvien.

Des alluvions plus restreintes se retrouvent encore dans le nord de l'Europe, et appartiennent principalement à certaines chaînes de montagnes, telle que l'Oural. Ces accumulations de sol aurifère ont une origine purement locale, et n'ont aucuns rapports avec les ruisseaux ou les eaux de l'époque actuelle. On les trouve en effet à de grandes élévations au-dessus de leur lit; elles renferment des ossements de mam-

mouths et de rhinocéros, dont les analogues n'existent plus.[1]

Les alluvions aurifères et platinifères de la Sibérie se rencontrent en général à une petite distance des montagnes; plusieurs fois on a vu l'or en place dans des roches primitives, et notamment dans le quartz, avec lequel il est généralement associé. Il forme aussi de nombreux filons dans un granit gneissique, qui constitue une partie de la chaîne des monts Ourals. La décomposition lente de ces roches et les lavages réitérés qui s'opèrent encore, mais qui ont dû autrefois avoir lieu sur une plus grande échelle, ont nécessairement accumulé de grandes richesses à la base de ces montagnes; et comme dans les fortes alluvions les parties les plus pesantes ont dû se déposer les premières, l'or et le platine doivent se trouver dans le voisinage des points d'où proviennent les débris, tandis qu'une partie moins riche de matières sableuses a dû être entraînée par les courants périodiques qui résultaient et qui résultent encore de la fonte accumulée des neiges.

Enfin, dans certaines circonstances, les eaux diluviennes n'ont charrié que des débris très-fins, qui ont formé une partie du sol de la Russie.

---

1 Murchison, de Verneuil et Keyserling, Seconde investigation géologique de l'Empire russe en Europe. *Phil. Magaz.*, juillet 1843.



Tout le centre de cet empire est occupé par une terre noire très-fertile, nommée *tchornoi-zem*, qui se présente du 54.e au 57.e degré de latitude, et qui probablement n'est autre chose que le sol d'un vaste marais qui se couvrait de plantes dans la saison d'été, de neiges pendant l'hiver, tandis qu'au printemps il recevait des eaux et des sables qui détruisaient annuellement sa végétation. C'était sans doute la dernière zone de l'alluvion, celle qui ne recevait que les parties les plus ténues, après que toutes les autres, plus pesantes, s'étaient déposées pendant leur trajet.

Nous avons peu de renseignements sur les terrains diluviens des régions polaires antarctiques, mais puisque le terrain erratique y est très-développé, le sol diluvien doit s'y étendre aussi sur de vastes superficies.

Il existe un phénomène que les géologues ont rapporté tantôt au terrain erratique, tantôt au terrain diluvien, et dont nous devons dire quelques mots. C'est la présence dans des roches souvent très-dures, de cavités arrondies que l'on a désignées sous le nom de *marmites* ou *pot-holls*. Personne n'attribue leur creusement à l'action de la glace, mais à l'eau de fusion qui en découle et qui, en formant des cascades, a creusé au point de sa chute une cavité arrondie plus ou moins profonde. La présence de marmites dans des points très-unis, où aucune chute ne pourrait avoir lieu, a été appelée en témoignage de la présence d'an-

ciens glaciers, et l'on conçoit très-bien qu'ils aient pu fournir la force nécessaire pour creuser ces petits bassins.

Mais si une chute semble nécessaire pour former les *pot-holls*, elle n'a pas besoin d'être considérable, et il n'est pas nécessaire non plus qu'elle provienne d'un glacier. Un simple cours d'eau suffit pour les creuser, et nous en avons rencontré plusieurs fois dans le lit des rivières, et qui contenaient même dans leur intérieur des cailloux que les eaux balançaient continuellement, et qui contribuaient à leur agrandissement.

M. de Collegno a fait des remarques très-intéressantes sur des *pot-holls* creusés par le Tarn, dans les micaschistes près du Saut-du-Sabot, vis-à-vis du village de Saint-Juery. La surface de la roche est parfaitement polie, et l'on y voit des stries et des sillons et un grand nombre d'érosions verticales, plus ou moins profondes, dont le diamètre varie depuis quelques décimètres jusqu'à un mètre. Les employés d'une usine voisine ont dit à M. de Collegno, que le nombre et les dimensions de ces cuves variaient à chaque crue de la rivière, ce que les habitants de Saint-Juery ont aussi affirmé. On a montré à ce géologue des excavations de 2 ou 3 décimètres, qui auraient été produites lors de la dernière crue.

M. de Collegno a fait des observations semblables sur les bords de la Dordogne, entre Bergerac et Pouillac;

les excavations sont creusées dans un calcaire à hippurites.[1]

M. Newbold a remarqué aussi dans l'Inde méridionale, dans le lit du fleuve Zoombuddra, une grande quantité de bassins creusés dans le gneiss, dont le nombre s'augmente tous les ans.[2]

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; nouv. série, tome II, page 324.

2 *Phil. Magaz.*; janvier 1843.

CHAPITRE XIV.

DE LA CHALEUR SOLAIRE CONSIDÉRÉE COMME CAUSE PRINCIPALE DE LA FORMATION DU TERRAIN DE TRANSPORT.

Quoique nous ayons abordé quelques idées théoriques dans les chapitres précédents, notre but a été surtout d'exposer des faits et de rapporter un certain nombre d'exemples. Il nous reste maintenant à les coordonner, et à rechercher si l'hypothèse d'un décroissement séculaire de la température solaire peut expliquer les phénomènes géologiques, et résoudre notamment le problème erratique avec plus de simplicité qu'un abaissement de température dû au refroidissement de notre planète.

Tous les physiciens considèrent maintenant la solidification de la croûte extérieure du globe comme une conséquence de son refroidissement graduel ; mais plusieurs savants font intervenir une période frigorifique, repoussée par toutes les observations géologiques, pour permettre aux glaciers de s'étendre et de créer le terrain erratique. D'après nous, il est impossible qu'un abaissement de température puisse favoriser l'extension des glaciers, et nous en avons puisé les preuves dans les écrits mêmes des glaciéristes et des glacialistes.

Une diminution dans la chaleur, ou ce qui est la même chose, un retour vers les latitudes élevées, ne nous donne pas de plus grands glaciers, mais une couche de neige plus étendue qui se maintient plus longtemps.

Personne, nous pensons, n'a eu l'idée assez naturelle cependant, de chercher dans un accroissement de chaleur, la cause d'une plus grande quantité de glace; car les géologues, ayant toujours considéré les différences de température des temps anciens à la période actuelle, comme étant dues à la chaleur centrale, il fallait, pour être conséquent, reconnaître la continuité de cette température élevée, et très-certainement la glace ne se forme pas au-dessus de 0; mais elle peut s'y maintenir longtemps.

Or, en attribuant au soleil un décroissement de chaleur, qui a été beaucoup plus long que celui de notre planète, on augmente considérablement l'étendue des périodes climatériques, et quoique l'on n'ait pas l'habitude, comme le dit M. de Charpentier, de marchander le temps aux géologues, il est bon cependant d'avoir à sa disposition des espèces de pièces justificatives pour toutes les explications. D'un autre côté on obtient des alternatives d'été et d'hiver, dont les extrêmes sont d'autant plus éloignés, que les localités sont situées à une plus grande distance de l'équateur, et, si nous ne nous trompons pas, on arrive ainsi à une théorie plus simple de tous les

terrains de transport à quelque époque géologique qu'ils appartiennent.

Les périodes se grouperaient alors de la manière suivante :

1.re PÉRIODE. *La chaleur centrale l'emporte sur les climats.*

2.e — *Les climats commencent à se faire sentir, les neiges s'accumulent aux pôles pendant les hivers et fondent complétement pendant les étés.*

3.e — *Les neiges se déposent en quantité plus grande qu'elles ne fondent ; il y a un reste qui augmente chaque année.*

4.e — *Par suite d'un moindre dépôt de neige aux deux pôles, la fusion l'emporte sur l'alimentation des glaciers et les glaces diminuent.*

Il serait peut-être très-difficile de rapporter à ces diverses périodes les étages des terrains de sédiments, déterminés par les géologues, d'autant plus qu'il faudrait d'abord prouver le synchronisme des divers dépôts particuliers qui constituent chaque formation ou chaque terrain, dépôts qui, par leur situation en latitude, peuvent être d'âges très-différents.

Nous nous bornerons à rechercher les principaux effets produits pendant ces périodes et à les rapporter aux causes dont ils dépendent.

De l'évaporation.

Nous aurons plus loin occasion d'examiner les diverses théories qui ont été données par ceux qui admettent l'extension des glaciers; il nous suffira de faire remarquer ici qu'elles pêchent toutes par la base; car elles exigent un abaissement de température. Or, la chaleur est la cause la plus active, et peut-être même la seule cause de tous les effets atmosphériques.

La chaleur qui arrive sur notre globe l'échauffe sur ses diverses parties, proportionnellement à son intensité; mais, si cette chaleur vient frapper un corps qui contient de l'eau ou de l'eau pure, une portion du calorique devient latente, se combine au liquide et forme de la vapeur.

Cette quantité de chaleur latente destinée à faire passer l'eau à l'état de vapeur, est six fois plus considérable que celle qui amènerait l'eau à la température de l'ébullition.

Nous ne pensons pas que personne ait jamais contesté à la vapeur le pouvoir de produire tous les météores aqueux qui flottent dans l'atmosphère ou qui en descendent; par conséquent, plus il se formera de vapeurs, plus il descendra d'eau sur la terre, et plus il fera chaud, plus active sera la circulation de ce liquide.

Cette vérité n'a pas besoin d'être démontrée, mais elle est pour ainsi dire prouvée par ce qui se passe

de nos jours sur la terre, les contrées les plus rapprochées de l'équateur, sont celles qui reçoivent le plus d'eau, parce qu'elles sont aussi celles qui sont les plus chaudes et qui produisent le plus de vapeurs.

On trouve dans la plupart des ouvrages de météorologie les quantités annuelles de pluie qui tombent sur différents points du globe, et l'on voit qu'en général ces quantités vont en affaiblissant à mesure que la latitude s'élève ou que le pays se refroidit.

A Saint-Domingue il tombe une couche annuelle de . . . . 3m08 d'eau.
A Naples . . . . » 95 —
A Paris. . . . . » 56 —
A Pétersbourg . . . . » 46 —

Ce qui prouve évidemment qu'il se forme plus de vapeurs dans les points les plus chauds. Il est vrai qu'il y a un grand nombre d'exceptions; mais il ne peut en être autrement, quand on songe que la pluie ne vient pas se condenser précisément où sa vapeur est créée. Le vent peut l'entraîner à une grande distance, et la quantité d'eau qui tombe en un point donné, est rarement en rapport exact avec la proportion de vapeur qui s'y forme.

La température d'un lieu permet aussi à l'air de contenir des doses très-différentes de vapeurs. Ainsi, un mètre cube d'air à 0, ne peut dissoudre en poids que 5g,4 d'eau, tandis que ce même volume à + 30 peut en contenir 29g,4 et 49g,2 à + 40.

Il ne se forme donc qu'une petite quantité de vapeur dans les pays froids, et malgré cela, il y pleut fréquemment, si le point froid est limité et entouré d'endroits assez chauds pour que l'eau s'y vaporise facilement : le lieu refroidi sert alors de condensateur.

C'est ainsi que le grand Saint-Bernard, situé à 2491 mètres d'élévation absolue, reçoit $1^{m},55$ d'eau, tandis que Genève, à 407 mètres, n'en mesure que $0^{m},70$, moins de la moitié.

Dans la zone torride il est tombé, à la Basse-Terre de la Guadeloupe, presque au niveau de la mer, $3^{m},23$, et à l'établissement de Mantoube, situé à une assez grande hauteur, $7^{m},42$. Il est facile de voir que, dans ces derniers exemples, le grand Saint-Bernard et Mantoube ont servi de condensateurs, puisqu'une température moins élevée ne leur permettait pas de produire autant de vapeur que Genève et la Basse-Terre.

« Dans ces conditions, dit M. Boussingault, dans la « relation de son ascension au Chimborazo, les gla- « ciers peuvent être comparés à des condensateurs, « lancés vers les hautes régions de l'atmosphère pour « dessécher l'air en le refroidissant, et ramener ainsi « à la surface de la terre, l'eau qui s'y trouvait con- « tenue à l'état de vapeur. »[1]

---

1 Annales de chimie et de physique; t. LVIII, févr. 1835, page 153.

Une fois la vapeur élevée dans l'air, elle retombe en pluie, si la température est au-dessus de 0, et en neige, si l'eau peut se congeler pendant qu'elle traverse l'atmosphère. Il y a donc des contrées sur la terre où il n'y pas de neige, et d'autres où il tombe rarement de la pluie. On ne connaît guère cependant de points assez froids pour que l'eau y descende continuellement à l'état solide.

Les régions polaires reçoivent encore de la pluie à l'époque actuelle dans leurs jours d'été. Le capitaine Parry cite une pluie qui a duré pendant 21 heures de suite, et à laquelle à succédé une brume très-épaisse; de fréquentes ondées les incommodaient beaucoup.[1]

Entre le 82.e et le 83.e degré, la température de son logement était ordinairement de + 2 à + 6° Réaumur; mais elle s'éleva un jour jusqu'à 12° Réaumur, et une autre fois jusqu'à 15°.[2]

Il y a donc encore alternative de froid et de chaud vers les pôles de la terre; car, après la pluie dont parle le capitaine Parry, il recevait aussi la neige, il en tombait du moins presque constamment pendant la partie du jour qui correspondait à la nuit; car, « tous « les matins on enlevait la neige dont les embarcations « étaient ordinairement remplies. »[3]

---

1 Revue Britannique; 3.e année, avril 1828.

2 *Idem, ibidem*, page 299.

3 *Idem, ibidem*, page 298.

Ainsi, pendant l'été même la neige tombe encore en abondance entre le 82.e et le 83.e degré.

Dans notre zone tempérée les pluies sont distribuées avec une espèce d'irrégularité dans tous les mois de l'année.

Les observations de Sénebier, de 1782 à 1789, donnent de 32 à 47½ pouces pour la quantité d'eau annuelle de Genève, tandis que la moyenne, obtenue par M. le professeur Gautier pour 60 années d'observations, de 1782 à 1842 inclusivement, lui ont donné seulement 30 pouces 7 lignes, ou 827^{mm},9.

Ces 367 lignes d'eau sont ainsi réparties dans les douze mois de l'année :

	lig.		lig.
Janvier	24.[illegible]	Juillet	35.3
Février	20.2	Août	30.5
Mars.	21.1	Septembre	39.5
Avril.	23.2	Octobre	38.6
Mai	33.9	Novembre	37.9
Juin	33.4	Décembre	29.3

Les années les plus pluvieuses ont été 1783, 1799 et 1841.[1]

La quantité moyenne annuelle de neige tombée à Genève pendant les 40 années, 1796 à 1835, est de 14⅓ pouces, dont :

---

1 Bibliothèque univers.; 2.e série, 8.e année, janvier 1843, page 140.

Janvier	5.8
Février	2.7
Mars.	1.»
Novembre. . .	1.1
Décembre . . .	3.7

La plus grande quantité annuelle dans cet intervalle a été de 44 pouces en 1827; la plus petite de 1 pouce en 1817. D'après le journal de Deluc, il tomba au moins 8 pieds de neige pendant le long hiver de 1784 à 1785, dont 1 pied au commencement d'avril.[1]

Les pluies tropicales sont quelquefois effrayantes par leur excessive abondance, comme le prouve l'exemple suivant :

« Du 1.er au 24 février de cette année (1820), il est « tombé sur l'île de Cayenne 12 pieds 7 pouces d'eau.

« En exposant un vase au milieu de la cour il est « tombé en ville 10½ pouces d'eau, depuis 8 heures du « soir à 6 heures du matin, dans la nuit du 14 au 15 « du même mois. »[2]

Il semble que sous la zone torride, la chaleur solaire soit en partie employée dans la journée à charger l'atmosphère de vapeurs d'eau, et la nuit, le rayonnement refroidissant l'air, une partie de l'eau se précipite, offrant ainsi à de courts intervalles une

1 Bibl. univ.; 2.e série, 8.e année, janvier 1843, page 162.

2 Extrait d'une lettre de M. Roussin, capitaine de vaisseau. Annales de chimie et de physique; tome XV, page 425.

représentation du phénomène d'alternance, qui devait autrefois se produire aux pôles quand ils étaient périodiquement soumis, sous l'influence d'une température plus élevée, à six mois de jour et à six mois de nuit; c'est du moins ce qui résulte des curieuses observations faites par M. Boussingault aux environs de Marmato.[1]

Sous la zone torride où l'évaporation est bien plus active que dans nos climats, les pluies deviennent tellement abondantes à certaines époques de l'année, que tous les fleuves se gonflent et deviennent dix à vingt fois plus considérables qu'ils n'étaient auparavant.

Ainsi, le Nil jaugé au port de Syout par M. Girard, lui a donné un minimum de 679 mètres cubes par seconde, tandis que dans sa crue périodique il a donné 10 247 mètres cubes dans le même temps, c'est-à-dire, que ce fleuve non débordé, n'est qu'une légère fraction de lui-même à l'époque des crues, puisqu'il fait plus que décupler son volume.

Ce fleuve monte de 10 à 12 mètres dans la Haute-Égypte, de 8 mètres au Caire et de $1^{m},35$ dans la partie septentrionale du Delta. Les pilotes étrangers admettent 30 mètres pour la crue ordinaire dans le bas Orénoque.[2]

---

1 Annales de chimie et de physique; t. LXI, p. 169, 1836.

2 Humboldt, Voyage aux régions équinox.; t. XIII, page 406.

C'est toujours à une époque réglée que les inondations ont lieu ; il y a 250 ans que des colons européens sont établis près des bouches de ce fleuve, et pendant ce long espace de temps, d'après une tradition qui s'est propagée de génération en génération, les oscillations périodiques du fleuve n'ont jamais retardé de 12 à 15 jours.[1]

La cause des crues périodiques de l'Orénoque agit également sur tous les fleuves qui naissent sous la zone torride. Après l'équinoxe du printemps, la cessation des brises annonce la saison des pluies; l'accroissement des rivières, que l'on peut considérer comme des *ombromètres* naturels, est proportionnel à la quantité d'eau qui tombe dans les différentes régions. Au centre des forêts du Haut-Orénoque et du Rio-Negro, cette quantité paraît excéder 2,^{m}80 à 3 mètres. « Aussi, « dit le célèbre voyageur dont nous citons les paroles, « ceux qui ont vécu sous le ciel brumeux de l'Esme- « ralda et de l'Atabapo, savent, sans avoir la moindre « notion de physique, ce que savaient jadis Eudoxe « et Eratosthène, que les inondations des grands fleuves « sont dues aux seules pluies équatoriales. »

Voici ce que dit M. de Humboldt de la marche ordinaire des oscillations de l'Orénoque : « On s'aper- « çoit aussitôt après l'équinoxe du printemps (le peuple « dit le 25 mars) du commencement des crues; elles

1 Humboldt, Voyage aux régions équinox. ; t. XIII, p. 609.

« ne sont d'abord que de 3 centimètres par 24 heures;
« quelquefois la rivière baisse de nouveau en avril; elle
« atteint son maximum en Juillet, reste pleine (au
« même niveau) depuis la fin de juillet jusqu'au 25 août;
« puis elle décroît progressivement, mais avec plus de
« lenteur qu'elle n'a augmenté; elle est à son minimum
« en janvier et en février. Dans les deux mondes, c'est
« à peu près à la même époque que les rivières de la
« partie boréale de la zone torride parviennent à la
« plus grande hauteur. Le Gange, le Niger et la Gam-
« bie, atteignent le maximum comme l'Orénoque dans
« le mois d'août. Le Nil retarde de deux mois, soit à
« cause de quelques circonstances locales dans le cli-
« mat de l'Abyssinie, soit à cause de la longueur de
« son cours, depuis le pays de Berber ou le 17.e degré
« de latitude, jusqu'à la bifurcation du Delta. Les géo-
« graphes arabes assurent que, dans le Sennaar et dans
« l'Abyssinie, le Nil se gonfle dès le mois d'avril (à peu
« près comme l'Orénoque); cependant les crues ne de-
« viennent sensibles au Caire que vers le solstice d'été;
« elles atteignent la plus grande hauteur à la fin du
« mois de septembre; la rivière se maintient au même
« niveau jusqu'à la mi-octobre; elle est au minimum
« d'avril en mai, à une époque où les fleuves de la
« Guyane commencent déjà à se gonfler.

« On voit, par cet exposé rapide, que malgré le re-
« tard causé par la forme des canaux naturels et par
« des circonstances climatériques locales, le grand phé-

« nomène des oscillations des rivières de la zone torride est le même partout. »[1]

« A Bombay, le soleil est vertical deux fois dans « l'année, au milieu de mai et à la fin de juillet; la « saison des pluies y commence vers les premiers jours « de juin et se termine en août; on observe encore « quelques fortes averses en septembre, mais elles « durent peu. Pendant la saison des pluies et le mois « qui la précède, le ciel est voilé de nuages, qui em-« pêchent le sol de se réchauffer pendant le jour et « de se refroidir pendant la nuit par le rayonnement. »[2]

L'abondance de ces pluies est telle sur le continent africain qu'elle peut causer des inondations subites et désastreuses.

Dans cette saison les eaux tombent aussi par torrents au milieu du désert. Le sol ne présente que des ondulations à pentes très-peu sensibles, mais qui se prêtent par cela même à des inondations subites si vastes, qu'elles suffiraient pour noyer toute une armée. « Peu de jours avant notre arrivée à Laghonat, « dit le général Marey-Monge, plusieurs douars arabes « avaient péri par cette cause.

« Ainsi des populations entières pourraient être en-« sevelies sous les eaux dans les plaines du désert,

---

1 Humboldt, Voyage aux régions équinox.; t. VIII, page 399.

2 Bibliothèque univers.; nouv. série, 10.e année, oct. 1845, page 375.

« comme le fut l'armée de Pharaon au milieu de la « mer Rouge. »[1]

Nous voyons les pluies commencer à peu près partout, quand le soleil avance vers le solstice, ou lorsqu'il l'atteint; et si nous nous reportons à l'époque où nos contrées jouissaient d'un climat tropical, nous verrons que nos pluies vernales, ou au moins celles du mois de juin, devaient être changées en pluies torrentielles, qui pouvaient produire de vastes inondations, surtout en se mélangeant aux neiges accumulées pendant sept à huit mois sur les montagnes et sur les pôles de la terre.

Que devait-il donc résulter d'une température beaucoup plus élevée, produite par une intensité beaucoup plus grande de la chaleur solaire? Une immense évaporation, et, par suite, une condensation de vapeurs en rapport avec cette évaporation. Dès lors, les points les plus froids, ou ceux qui le devenaient alternativement, recevaient des masses de pluie ou de neige qui se fondaient ensuite au retour du soleil.

Les montagnes qui s'élevaient au-dessus du sol d'une certaine hauteur, et qui, par conséquent, étaient des points plus froids placés dans une atmosphère plus chaude et saturée de vapeur, faisaient les fonc-

1 Notice sur l'expédition de Laghouat sous les ordres du général Marey-Monge, par le baron Ch. Dupin. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XX, page 1482.

tions de refrigérants qui condensaient les vapeurs et les faisaient ruisseler en abondance sur leurs flancs. Les pôles durent agir de la même manière à mesure que le soleil les abandonnait. Les débris étaient immenses et transportés avec une grande violence par ces courants.

La quantité de vapeur qui se formait alors, empêchait la terre de s'échauffer beaucoup; car une partie de cette chaleur devenait immédiatement latente, et servait à faire passer à l'état de gaz l'eau que les pôles et tous les points élevés condensaient en abondance.

Les pays chauds et les plaines reçoivent en été leur maximum de pluie; les régions froides et les montagnes atteignent au contraire ce maximum en hiver.

Lorsque, par suite d'un abaissement séculaire de la température du soleil, la chaleur des hivers fut assez faible pour permettre aux neiges de s'accumuler sur les sommités, les glaciers commencèrent à se former et à grandir successivement, tant qu'une large évaporation, qui avait lieu sur toute la surface de la terre, procurait des neiges abondantes pour alimenter leurs nevés; mais depuis longtemps des neiges qui disparaissaient complétement au retour des beaux jours, des neiges fondues et aidées par des torrents de pluie tropicale, avaient dû remplir de débris les vallées qui allaient devenir le réceptacle des glaciers.

Ceux-ci ont donc dû pousser devant eux des cailloux roulés de toute espèce, et en faire d'énormes

moraines, dans lesquelles l'action glaciaire et l'action diluvienne doivent se trouver mélangées et confondues, puisque chacune des deux forces avait contribué pour sa part à la création de ces dépôts; tandis que maintenant les glaciers, ayant nettoyé leur lit depuis longtemps, ne se chargent guère que par-dessus.

On dit que si la température de la surface terrestre s'abaissait comme celle du pôle, la terre pourrait se couvrir de glace; mais si partout la température devenait aussi basse, l'évaporation cesserait presque entièrement, et si les vapeurs qui s'élèvent sous les zones torrides et tempérées, étaient supprimées par un abaissement de température, les glaciers cesseraient de se former aux pôles et sur les hautes montagnes.

Plus nous nous éloignons de l'époque actuelle pour revenir aux anciennes périodes géologiques, plus nous trouvons de motifs pour que l'évaporation ait été plus active sur la terre.

Elle a dû surtout atteindre son plus grand développement quand la chaleur terrestre, se manifestant de tous côtés, s'unissait encore à l'excessive chaleur des climats, pour verser sans cesse sur le globe ces torrents d'eau chaude qui ont formé les premiers terrains sédimentaires sans fossiles; et aussitôt que les climats ont apparu après l'affaiblissement de la chaleur centrale, les pôles, abandonnés du soleil pendant six mois, jouaient, chacun à leur tour, le rôle de condensateurs.

A cette époque de haute température, la grande inégalité des jours existait comme aujourd'hui sous les régions polaires, et devait contribuer à favoriser l'évaporation en été et la condensation en hiver; ainsi, au Cap Nord, par 71°2 de latitude, la plus longue nuit est de 74 jours, et à l'île Melville, par 75°, elle atteint 102 jours.

L'eau douce s'évapore un peu plus facilement que l'eau salée, et elle devait autrefois offrir à l'action solaire une surface bien plus étendue qu'aujourd'hui, à cause de la largeur de ses courants et surtout à cause de sa densité, qui lui permet de surnager l'océan, comme elle le fait à l'embouchure de grands fleuves, en s'étendant très-loin à la surface de la mer.

L'état d'agitation continuelle que les eaux douces devaient éprouver par suite de l'abondance des pluies et le transport incessant de matériaux enlevés aux terrains qu'elles parcouraient, devait les rendre troubles et colorées.

Or, il y a une très-grande différence dans la couche évaporée quand la chaleur agit sur une eau limpide et transparente qui la réfléchit en partie, ou sur une eau bourbeuse et colorée qui s'échauffe bien plus rapidement et produit alors une quantité de vapeurs bien plus considérable. Cette cause, presque insignifiante de nos jours, a pu avoir autrefois une très-grande importance.

L'évaporation qui devait être si active au commen-

cement des temps géologiques, a dû nécessairement se ralentir par la diminution de la chaleur et par la disparition d'une certaine quantité de liquide presque entièrement soustraite à l'action des rayons solaires. C'est l'eau qui entre en combinaison dans une foule de roches des terrains de sédiments, et surtout celle qui s'y trouve contenue comme dans de véritables éponges.

Le forage des puits artésiens a mis cette vérité hors de doute, et nous indique quelle masse d'eau énorme existait dans les bassins avant le dépôt des terrains secondaires et tertiaires.

L'évaporation peut aussi être considérée comme la cause du dépôt chimique des matériaux qui constituent plusieurs terrains tertiaires, surtout lorsque les lacs se présentaient à l'action solaire avec une grande surface.

Ainsi, la Limagne d'Auvergne était alimentée par un grand nombre de petits affluents, et certainement il devait en sortir bien moins d'eau qu'il ne devait y en entrer; en sorte que les matières très-peu solubles dans l'eau, devaient se déposer peu à peu.

Il paraît que dans le lac supérieur de l'Amérique du nord de nombreuses rivières viennent remplir le bassin, et qu'une quantité bien moindre d'eau s'échappe par les chutes de Saint-Mary, en sorte que la majeure partie est enlevée par l'évaporation.

Mais ce sont surtout les lacs salés qui nous prouvent,

par leur abaissement progressif, la grande évaporation qui a dû avoir lieu autrefois sur la terre.

Les recherches intéressantes de M. Angelot sur les dépressions du sol qui existent en Afrique, lui ont donné pour conclusions que sur les diverses parties du globe « les lacs d'eau très-salée sont tous, à de bien « rares exceptions près, au-dessous du niveau des mers, « et le sel qui couvre la surface du sol en un grand « nombre de points, ne peut guère être considéré que « comme le dernier résultat, le résidu de la concen- « tration des eaux marines. »[1]

« Une des observations les plus curieuses est la « mesure de la dépression d'un lac salé dans le pays « d'Adel, à quelques lieues de distance de la mer Rouge. « L'étude géologique de la région dans laquelle il est « situé, porte à croire qu'il formait l'extrémité d'un « bras de mer qui s'avançait dans les terres, et a été « séparé de la mer par un soulèvement volcanique, « qui en a obstrué l'entrée; il est entouré de volcans « éteints. La dépression du niveau des eaux de ce lac, « comparée au niveau de la mer Rouge, est de près de « 200 mètres. Une large ceinture de sel cristallisé, et « qui supporte le poids des chameaux des caravanes, « borde ses rives. Les montagnes, dans lesquelles il est « enchassé, sont revêtues jusqu'à une grande hauteur

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.[e] série, t. II, page 438.

« d'une croûte blanchâtre, qui indique son niveau « primitif; ce qui montrerait qu'une évaporation lente « et continue a contribué à sa dépression. »[1]

En Russie, les terrains tertiaires sont peu distincts des accumulations diluviennes et des alluvions.

Les sables récents coquillers qui couvrent les steppes, sont le résidu laissé par la mer Caspienne, lorsqu'elle s'est graduellement retirée.[2]

La diminution de l'eau dans la mer Morte est due à l'évaporation active qui a lieu à sa surface, à cause de son abaissement au-dessous de la Méditerranée. Une reconnaissance minutieuse, et faite à l'aide d'instruments scientifiques par un corps d'ingénieurs anglais, sur toute la région située entre la vallée du Jourdain et la Méditerranée, a établi tout récemment que la dépression de cette vallée, au-dessous du niveau de la mer, est de 1380 pieds, et, par conséquent, à 1410 pieds au-dessous du niveau de la mer Rouge.[3]

L'allongement de 1380 pieds que doit acquérir la

---

1 Notes sur les résultats scientifiques d'un voyage dans le royaume de Choa, exécuté en 1842-1845, par M. Rochet d'Héricourt. (Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXI, page 884.)

2 Murchison, de Verneuil et Keyserling, Seconde investigation géologique de l'Empire russe en Europe. *Phil. Magaz.*, juillet 1843.

3 Bibliothèque univers.; nouv. série, 10.e année, mars 1845, page 104.

colonne atmosphérique qui repose sur la mer Morte, doit nécessairement favoriser, par une élévation de température, la formation de la vapeur à sa surface.

Cette immense évaporation, qui a enlevé les eaux des grandes dépressions de l'Afrique et de l'Asie, a eu nécessairement pour résultat de verser toutes ces eaux dans le bassin de l'océan général; mais il est très-probable que c'est vers l'époque moderne, ou du moins dans des temps géologiques peu anciens, que cette évaporation a eu lieu, et c'est ainsi sans doute que se sont détruits, en tout ou en partie, ces énormes amas d'eau dont les restes existent encore sur quelques parties plus boréales de notre hémisphère, notamment en Europe et dans l'Amérique du nord.

L'évaporation des lacs situés sous les tropiques, ou près de ces lignes, a dû augmenter d'une manière très-sensible la quantité d'eau que l'air pouvait alors contenir. Le peu de profondeur des bassins permettait au liquide de s'échauffer et de fournir alors beaucoup de vapeur à une atmosphère brûlante qui formait une large ceinture tropicale autour du globe, tandis que ses deux extrémités, alternativement refroidies, agissaient évidemment comme deux énormes condensateurs : il devait en être de même des montagnes élevées.

Les inégalités du sol, devenant plus nombreuses à mesure que notre planète a vieilli, par le nombre toujours croissant des soulèvements, il a dû en résulter

une masse d'eau moins grande, ou plutôt répartie dans des bassins plus profonds et présentant moins de surface.

Le décroissement graduel de l'évaporation est donc un fait parfaitement acquis, et nous en retrouverons plus loin une preuve nouvelle dans la diminution proportionnelle de l'eau des rivières et des lacs.

CHAPITRE XV.

DE LA DÉNUDATION DES TERRAINS ET DE L'ANCIENNE ETENDUE DES COURS D'EAU.

Nous venons de voir l'action qu'a dû exercer une chaleur plus intense sur l'évaporation, nous devons maintenant chercher comme résultat, comme preuve de cette grande formation de vapeurs, la présence d'une quantité d'eau pluviale ou courante en rapport avec la vaporisation. On peut dire que les preuves abondent depuis les temps géologiques anciens jusqu'à l'époque de transport. Quelle que soit la localité que l'on étudie, quel que soit le sol sur lequel on dirige ses recherches, on arrive de suite à reconnaître, qu'aussitôt qu'un terrain de sédiment était émergé, il était immédiatement raviné, et quelquefois complétement emporté.

La dénudation se présente partout, depuis les sédiments inférieurs jusqu'aux alluvions.

« Ceux qui étudient la géologie, dit M. de la Bèche, « ne doivent jamais perdre de vue cette idée d'une « grande dénudation, comme étant applicable, non-« seulement aux terrains dont il est présentement « question (tertiaires), mais encore à ceux d'une date « antérieure; ils doivent considérer qu'il n'existe pas

« sur la surface du globe une contrée étendue qui, « géologiquement parlant, soit demeurée longtemps « dans un état de repos, mais, qu'au contraire, il y a « eu fréquemment des élévations et des abaissements « du sol, ainsi que des dégradations qui ont emporté « de grandes masses de terrains. »[1]

On ne peut d'ailleurs expliquer la création de nouveaux terrains de sédiment que par la destruction des autres, de même que nous ne pouvons concevoir le renouvellement des êtres vivants que par la consommation et la mort de ceux qui existent.

Les grès, quel que soit leur âge, ne pouvaient donc provenir que de continents émergés qui étaient alors nécessairement plus élevés qu'ils ne le sont aujourd'hui, abstraction faite des soulèvements postérieurs. La masse d'eau énorme qui tombait à leur surface, et qui les ravinait, était due à l'évaporation active de ces diverses époques, et si nous croyons voir, dans les terrains modernes, une plus grande dénudation qu'à la surface des sédiments anciens, c'est qu'elle nous frappe davantage à cause des moindres dérangements que ces terrains ont éprouvés, et surtout parce qu'ils sont à peu près partout à découvert, tandis que ceux qui appartiennent aux époques géologiques anciennes, montrent plus rarement leurs parties supérieures.

1 De la Bèche, Manuel de géologie; page 251.

Les grands lavages dus aux eaux pluviales qui, alternativement venaient inonder chaque pôle, ont laissé leurs traces sur des terrains très-anciens. Ainsi, la surface de la craie blanche dans tout le nord de l'Europe et même de la France a été fortement ravinée; dès lors il ne se formait plus, ou il ne se produisait que très-peu de glaces sur les pôles, et l'action n'était plus la même pour les alluvions que de nos jours. Le refroidissement périodique de chaque pôle y attirait nécessairement, et bien avant l'époque crayeuse, de grandes pluies torrentielles qui atteignaient une grande partie de la zone tempérée. Les grès ont été formés de la même manière; mais les soulèvements qui sont survenus à diverses époques ont interrompu certaines formations.

Une grande partie de la craie blanche, qui s'était déposée dans les mers du nord de l'Europe, a été enlevée par des lavages, qui ont commencé aussitôt après l'émersion de ces terres. Les silex, plus durs, ont résisté et recouvrent le sol sur une grande étendue. M. de la Bèche cite des parties de l'Angleterre, couvertes de ces silex provenant de terrains de craie qui ont été détruits.[1]

Des montagnes anciennes ont déjà complétement disparu sous l'action nivelante des eaux.

L'ordonnance *Geological Survey*, dont les publica-

---

1 De la Bèche, Manuel de géologie; page 212.

tions sont si remarquables, édite, outre ses magnifiques cartes géologiques, des coupes qui ne pénètrent qu'à une petite profondeur.

« Un des points les plus importants qui soit dé-« montré par ces sections, dit le professeur Favre, « c'est l'ancienne existence de montagnes ou de col-« lines dont maintenant on ne trouve plus de trace. « La surface de la contrée où elles s'élevaient jadis « est parfaitement horizontale ; il n'y a qu'un examen « attentif du sol qui puisse révéler leur ancienne exis-« tence et démontrer que ces montagnes ont été dé-« truites, et que leurs débris, transportés au loin, ont « fourni les éléments de formations plus récentes. »[1]

Mais c'est surtout postérieurement aux terrains tertiaires que les lavages du sol ont conservé tous leurs caractères, et il n'est peut-être pas une contrée du globe où nous ne puissions constater leur action.

La France a toute sa surface usée et ravinée par les eaux. Que l'on jette un coup d'œil sur le centre et le midi, on reconnaîtra la trace de grands lavages, qui semblent partir des points culminants du plateau central, pour détruire tous les terrains environnants.

Une multitude de petites vallées, qui découpent le sol primordial, indiquent une action lente et continue des eaux qui ont dégradé pendant longtemps ; mais

1 Favre, Sur les cartes géologiques d'Angleterre. Archives des sciences physiques et naturelles ; 1.re année, page 356.

ce qui offre surtout un spectacle de ruines et de destruction, ce sont les *Causses* de la Lozère. Le délabrement dans lequel se trouvent les calcaires jurassiques de cette contrée, la dénudation des granits et des micaschistes, accusent une cause lente et puissante d'érosion dans les courants et des pluies continues ou périodiques, qui ont agi depuis des siècles, mais avec une intensité plus grande que de nos jours.

Cette immense dégradation des terrains jurassiques a dû avoir lieu depuis leur émersion jusqu'à notre époque; car il n'en reste que des lambeaux.

C'est une chose curieuse que de voir ces témoins de puissants rochers qui, un jour disparaîtront peut-être tout à fait; leurs débris apparaissent de loin avec des formes bizarres d'hommes ou d'animaux, de piliers, d'obélisques, de monuments ruinés, etc.; là se montre partout cette main puissante du temps, cette force lente sous laquelle les rochers les plus durs finissent par s'écrouler, et cette action continuelle de la nature qui change et renouvelle ses œuvres, édifiant les unes aux dépens des autres qu'elle détruit.

Une dénudation des plus remarquables se montre encore sur un grand espace, qui comprend une partie contiguë des départements du Gard et de la Lozère. Des collines de micaschistes semblent coiffées de quartz relié par des feuillets schisteux; mais elles ne sont plus que les restes des hautes montagnes qui ont fourni la majeure partie des cailloux roulés qui sont descendus

par Anduze dans la plaine de Nîmes, où ils se confondent avec ceux des Alpes.

On ne peut se faire une idée juste, sans les voir, des érosions que ce terrain a subies : des vallées énormes ont été creusées, et tous leurs débris ont été entraînés par des courants d'eau, qui emplissaient les principaux sillons et débouchaient de tous côtés.

De vastes courants ou des eaux pluviales abondantes avaient déjà poli, avant d'y déposer les cailloux roulés, la plupart des calcaires tertiaires du midi de la France. Ce terrain, émergé peut-être brusquement, aura subi encore l'action des pluies et des lavages de cette époque. Le terrain crétacé inférieur du Midi est moins fortement dégradé.

Si nous étudions ensuite les terrains situés au nord de l'île Centrale, ainsi que la Limagne et les autres bassins qui y pénètrent ou s'y trouvent enclavés, nous y remarquerons les mêmes actions destructives ; nous verrons partout les calcaires entraînés, les coulées de basalte morcelées, et nous reconnaîtrons que ces effets destructeurs se sont fait sentir dans le Bourbonnais ; nous les retrouverons dans le bassin de Paris, en Champagne, dans le Nord, en Belgique, partout.

« L'existence sur un grand nombre de sommités, « dit M. Dufrenoy, de petits lambeaux de terrain « tertiaire nous fait penser, qu'à l'époque où ces « terrains se déposaient, la Vendée et la Normandie

« étaient soumises aussi à une action diluvienne puis-« sante. »[1]

Des deux côtés de la chaîne des Alpes la dénudation est immense, et des terrains entiers ont été pour ainsi dire emportés.

Les collines de Chieri, de Superga, et quelques autres lambeaux du terrain tertiaire moyen, sont restés autour de Turin comme les témoins d'un ancien sol que les eaux ou les glaces des Alpes ont entraînés.

L'Europe entière, l'Amérique, l'Asie, et, sans doute, toute la surface du globe, offrent les preuves d'une puissante érosion qui peut avoir des causes diverses, mais dont la principale, celle qui les domine toutes, est l'action torrentielle des anciennes pluies.

C'est principalement sur les terres nues, à peine consolidées, et sur les terrains en pente, où l'eau déploie sa force et sa vitesse, que l'érosion s'opère : la température, plus élevée que de nos jours, a dû autrefois faciliter encore ses ravages.

Aujourd'hui, une des causes de résistance à ses dévastations, c'est une végétation abondante, et surtout celle qui est composée de petites plantes, d'herbes basses à racines traçantes, comme les graminées. Tout porte à croire que ce genre de végétation était plus

---

1 Dufrenoy, Explication de la carte géologique de France ; tome I, page 176.

rare autrefois que de nos jours; car la flore de chaque contrée est devenue successivement plus variée et plus nombreuse; il se peut donc que ce léger obstacle à l'érosion ait été plus faible à une époque reculée.

De la diminution des cours d'eau.

Ce qui vient surtout nous prouver de la manière la plus évidente la diminution actuelle des eaux en circulation, c'est la grande élévation acquise autrefois par les fleuves; ce sont ces lisières de terrains d'alluvions qu'ils ont laissées à de grandes hauteurs; ce sont ces grands deltas qu'ils ont charriés, et ces lacs qu'ils ont remplis. Il n'est peut-être pas un seul cours d'eau de l'époque contemporaine, où l'on ne puisse reconnaître l'abaissement et la diminution du liquide.

La disposition souvent étagée des vallées, indiquant les grandes masses d'eau qu'elles ont contenues et qui se sont successivement retirées, est encore une preuve en faveur de l'ancienne circulation due à l'action plus intense de la chaleur solaire.

La plupart des vallées des montagnes, et même presque toutes celles où coulent actuellement des rivières, offrent une série d'étranglements ou de bassins autrefois pleins d'eau et séparés par des digues, que le courant a lentement usées et use encore tout en remplissant successivement chacune de ces cavités par des alluvions.

Le Rhône, avec ses nombreux affluents, avait autrefois un lit immense qui conduisait ses eaux dans la Méditerranée. Les cailloux alpins de la Crau prouvent la force de transport et la largeur qu'il avait alors.

Les observations de M. Fournet lui ont démontré qu'un immense courant, venant des Alpes, débouchant par Chambéry et le lac du Bourget, était entré dans la vallée du Rhône et avait déposé sur les hauteurs de la Croix-Rousse et de Montenay une grande quantité de cailloux alpins.

M. l'abbé Chamousset a reconnu, d'un autre côté, qu'un courant, et probablement le même, remplissait toute la vallée qui s'étend de Montmeillant à Chambéry jusqu'à une hauteur plus grande que 1200 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ce dépôt a passé pardessus la montagne de Montmeillan, élevée de 926 mètres au-dessus de Chambéry.[1]

Toutes les grandes vallées qui viennent des Alpes déboucher dans celle du Rhône, ont leur fond couvert de cailloux roulés et de sables sur des épaisseurs très-considérables, et c'est dans ces anciennes alluvions que les rivières actuelles ont creusé leur lit.

Nous pouvons, du reste, nous faire une idée de l'ancienne puissance du Rhône par sa comparaison actuelle avec le Nil.

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; nouv. série, tome I, page 642.



Comme nous l'avons déjà dit dans le chapitre précédent, le volume des eaux du Nil dans le temps de l'inondation, vers l'équinoxe d'automne, était à Syout de 10 247 mètres cubes par seconde, c'est-à-dire, quinze fois environ plus considérable qu'en avril, où M. Girard le trouva de 679 mètres seulement; mais il faut remarquer, qu'à l'instant de la crue, le Nil, tel que M. Girard l'a mesuré, est appauvri de toutes les dérivations faites pour arroser les deux rives, depuis la première cataracte jusqu'à Syout dans une étendue de 55 myriamètres. En tenant compte de cette circonstance, M. Girard estime que le volume des eaux du Nil, à l'époque de la plus forte crue, est vingt fois au moins plus grand que lorsqu'il commence à croître, c'est-à-dire qu'il s'élève à environ 14 000 mètres cubes par seconde.

Le Rhône, d'après les données de M. le comte de Villeneuve, verse dans la mer environ 2000 mètres cubes par seconde, au printemps, à l'époque où ses eaux sont à peu près dans un état moyen, entre la saison des pluies et le temps de la sécheresse.[1]

Mais il y a probablement erreur dans ce calcul, et si le Rhône est réduit à 2000 mètres cubes par seconde, ce ne peut être que dans ses basses eaux.

Quand ce fleuve atteint son maximum, il dépasse de beaucoup le volume du Nil; mais ce sont des crues accidentelles et non périodiques.

1 Annales de chimie et de physique; tome XXVI, page 221.

M. de Montluisant fixe à 6000 mètres cubes par seconde le débit de la Durance dans son maximum. M. Pognon, ingénieur des ponts et chaussées, m'a assuré que l'Ardèche lui avait donné un chiffre aussi considérable. L'Isère doit lui verser à certaines époques des eaux plus abondantes encore; la Drôme et une foule de petits affluents peuvent y conduire aussi leur contingent, et il faut bien compter pour quelque chose toute l'eau de la Saône et celle que le Rhône lui-même amène si rapidement du Valais. On voit que, dans des circonstances favorables, ce fleuve peut verser dans la Méditerrannée plus de 20 000 mètres cubes par seconde, et, comme nous le verrons un peu plus loin, ce chiffre a été dépassé en 1840 et 1841 pendant plusieurs mois de suite.

Le Rhône est donc un plus grand fleuve à son embouchure que le Nil à Syout, et si nous nous reportons par la pensée à l'époque où il devait recueillir de la fonte des neiges, et des pluies torrentielles, une quantité d'eau plus grande peut-être que celle que reçoit le Nil en Abyssinie et dans son immense parcours, nous commencerons à avoir une idée des moyens que la nature avait alors à sa disposition pour disperser le terrain diluvien, et déposer des terrasses de galets à des hauteurs que l'eau ne peut plus atteindre aujourd'hui.

D'après M. Desfontaine, les volumes d'eau du Rhin, à Lauterbourg, sur notre frontière septentrionale, sont:

Dans les basses eaux. . . .	467	mètres cubes par seconde.	
Dans les eaux moyennes. .	1106	—	—
Dans les hautes eaux . . .	5010	—	—

Il ne passe à Paris, sous le Pont-Royal, que 255 mètres par seconde dans les eaux moyennes.[1]

Voilà donc encore un fleuve tributaire des Alpes qui est plus considérable que le Nil, puisque, avant d'avoir reçu ses principaux affluents, il offre déjà une moyenne de 1106 et un maximum de 5010. Qu'est donc ce fleuve quand il a reçu le Necker, le Mein et la Moselle, cette rivière seule qui, à la frontière de France au delà de Sierk, débite, selon MM. Lemasson et Lejoindre, une moyenne de 86 mètres cubes par seconde?

Ajoutez à cela tous les petits affluents du Rhin, et vous aurez un volume énorme. Si nous augmentons par la pensée la cause d'alimentation de tels cours d'eau, ou, ce qui revient au même, si nous admettons une époque de température plus élevée, nous arriverons à un tel volume, que des effets géologiques, qui nous paraissent extraordinaires, deviendront possibles.

Si des déviations, et surtout quelques inégalités ou quelques oscillations du sol, ont eu lieu, le niveau de ces fleuves rapides, si puissamment alimentés, a pu s'élever à de grandes hauteurs.

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome I, page 451.

Si dans les temps actuels nos fleuves peuvent acquérir momentanément une élévation extraordinaire, ils peuvent aussi être réduits à des proportions infiniment moindres.

Pendant l'étiage, la Seine, à Paris, roule 90 mètres cubes par seconde.

La Garonne, à Toulouse, débite environ 80 mètres cubes. On a vu la Loire réduite à Orléans à 24 mètres cubes.

Pour le Rhône, à l'époque des plus basses eaux, qui se présente pendant l'hiver, lorsque les glaciers des Alpes ne rendent plus, il y a à Lyon 280 mètres cubes.

Le Rhin, près de Strasbourg, roule à son étiage, 340 mètres cubes, et d'après M. Lepère, le Nil, lorsqu'il est à son minimum, a encore 782 mètres cubes.[1]

Les fleuves de l'Amérique, bien plus larges que les nôtres, marchent en général beaucoup moins vite et versent plus d'eau dans la mer, parce que leurs crues sont toujours périodiques et non instantanées et accidentelles, comme celles de nos cours d'eau.

D'après les calculs approximatifs de Darby, le Saint-Laurent fournirait, indépendamment de ses deux plus puissants affluents le Saquenay et l'Ottowa, 13 100 mètres par seconde, et le Mississipi ne verserait au

---

1 Annales des ponts et chaussées; novembre et décemb. 1843, page 251.



golfe du Mexique, en temps ordinaire, que 8610 mètres cubes.

Les crues des fleuves d'Amérique surpassent toutes celles dont nous sommes témoins en Europe. Celles de l'Ohio doivent être citées pour leur hauteur. « Au prin-« temps, lorsque le vent du sud-ouest vient à souffler « pendant plusieurs jours sur les croupes des Allegha-« nys, où la neige s'est accumulée pendant un long « hiver, ses affluents deviennent des torrents qui lui « amènent des volumes d'eau énormes. Il monte sou-« vent alors de 15 mètres et quelquefois beaucoup plus. « En 1832, il dépassa de 20 mètres le niveau de l'é-« tiage à Cincinnati. Cette ville qui, assise sur un large « plateau, semble, en temps ordinaire, dominer la « vallée et être bien au-dessus de l'atteinte du fleuve, « se trouva en grande partie inondée, et les bateaux « à vapeur y parcouraient les rues. »[1]

Si les hommes ne peuvent pas toujours se soustraire à l'inondation, à plus forte raison les animaux sauvages sont-ils souvent victimes de ces cataclysmes annuels. On voit des cerfs réfugiés par centaines sur des tertres, où souvent même l'eau vient les atteindre et les entraîner.[2]

« Les crues du haut Mississipi ne sont que de 5

---

1 Michel Chevalier, Annales des ponts et chaussées; novemb. et décembre 1843, page 252.

2 Revue Britannique; décembre 1834, page 381.

« mètres; mais au-dessous du confluent de l'Ohio, le « Mississipi a des crues plus fortes, bien moins extra- « ordinaires cependant que celles de l'Ohio, quoiqu'il « reçoive les eaux d'autres puissants tributaires. L'es- « pace de 40 à 80 kilomètres de large sur lequel il « s'épand alors, modère sa hausse; il s'élève cependant « d'une dizaine de mètres. Dès Natchez, qui est aux « approches du Delta, l'inondation diminue; elle n'est « que de 8 à 9 mètres au plus à Baton-Rouge et de « 4 à 5 mètres à la Nouvelle-Orléans.

« Dans les régions tempérées de l'Europe, les crues « des grands fleuves vont rarement au delà de 6 mètres, « c'est-à-dire, qu'elles ne sont que du tiers de celles de « l'Ohio et d'environ la moitié de celles du Mississipi.

« La Garonne est de tous nos fleuves celui qui a les « plus fortes crues.

« D'après le rapport du marquis de Dalmatie sur le « canal latéral à la Garonne, elle s'est élevée à Agen « de 9,^{m}37. En Égypte, les crues annuelles du Nil sont « habituellement de 5,^{m}96 à 7,^{m}04 au Caire, et de 10 « à 12 mètres dans la Haute-Égypte. Une crue de 13 « mètres est excessive à Rosette, et à Damiette la crue « ordinaire n'est que de 1,^{m}08. »[1]

Si l'on n'accorde pas à l'action d'un glacier le polissage des roches qui au Mont-Cenis sont situées sur les

1 Michel Chevalier, Annales des ponts et chaussées; novemb. et décembre 1843, page 252.

bords de la Cenise à de grandes hauteurs, il faudrait au moins admettre un courant très-élevé pour produire cette action.

La même observation s'applique au Simplon.

Au-dessous du village de ce nom, la route suit pendant au moins deux lieues le bord d'un torrent. Ce dernier est très-profondément encaissé, et le pays présente l'aspect le plus sauvage, surtout au point où ce rocher a été creusé pour faire passer la route; rien n'est plus horrible que cet endroit où les schistes ont été arrondis et polis par l'eau, comme ils auraient pu l'être par les glaces. Ce polissage atteste la puissance de ce torrent qui s'est creusé un lit profond, où il roule ses eaux d'une manière si tumultueuse. Ce qui est remarquable, c'est le polissage des mêmes roches à plus de cent mètres d'élévation, qui prouve que le torrent a eu autrefois assez de puissance pour user de si grandes masses de rochers. C'est une chose admirable à voir, surtout au point où, à la sortie de la grande galerie, un pont est jeté sur une cascade qui vient en bondissant augmenter encore les eaux du torrent; des blocs énormes de rochers gisent dans son lit et tourmentent son cours.

Tous les géologues reconnaissent l'ancienne élévation des fleuves qui charriaient le diluvium.

Quand des hauteurs qui avoisinent Turin on regarde la chaîne des Alpes, on la voit ouverte par plusieurs larges issues qui ont donné passage à de grands fleuves.

La Doire, faible tributaire d'un autre cours d'eau, était autrefois un immense courant qui a versé dans la plaine une grande partie des débris alpins que l'on y trouve aujourd'hui.

« Le niveau des anciens fleuves diluviens qui, en « plusieurs endroits, est à près de deux cents pieds « au-dessus du niveau actuel des rivières, prouve en « faveur d'un niveau plus élevé des lacs dans lesquels « ces fleuves débouchaient. Cette période se termine « avec la déposition du diluvium récent et la disper- « sion des grands blocs erratiques. »[1]

Dans plusieurs localités des environs de Genève, M. Favre a reconnu des terrasses horizontales, étagées les unes au-dessus des autres, semblables en apparence, quoique sur une moins grande échelle, à celles de la vallée du Rhin ou à celles de l'Écosse; et peut-être cette observation est-elle destinée à éclaircir l'origine de ces singuliers dépôts, qui ont été le sujet de si longues discussions; car ici les terrasses sont sans aucun doute les restes de dépôts diluviens emportés par des eaux courantes.[2]

Il est, en effet, très-vrai qu'une grande masse d'eau qui dépose une couche alluvienne, s'étend plus éga-

---

1 Studer, Bibl. de Genève; mars 1842, page 149.

2 Alphonse Favre, Considérations géolog. sur le mont Salève. Comptes rendus : Bibliothèque univers. ; nouv. série, 9.e année, janvier 1844, page 126.

lement qu'un petit courant qui, par suite, use cette nappe primitivement déposée et s'y creuse un lit; c'est ce que l'on voit tous les jours dans le bassin des rivières après une inondation qui a nivelé toutes les alluvions; les courants s'y creusent un sillon et morcellent le dépôt primitif.

M. Durocher a aussi indiqué des sulcatures sur les grès de Fontainebleau dans les gorges de Franchard, et il les attribue à un immense cours d'eau, qui serait la Seine elle-même à une époque où ses eaux gonflées auraient eu la direction O. N. O. que suit le fleuve, comme l'a indiqué M. Élie de Beaumont, avant de recevoir le Loing à Saint-Mamert, et qu'il reprend ensuite après Melun. « Il est vraisemblable, dit M. Durocher, qu'à l'époque diluvienne le courant a suivi « la même ligne, dirigée de l'E. S. E. à l'O. N. O., qu'il « a dû couvrir tout l'espace occupé aujourd'hui par la « forêt, et qu'il y a creusé ces larges sillons dont les « arêtes sont couronnées de blocs. Le grès de Fontaine-« bleau étant formé de couches friables et de couches « plus cohérentes, les premières auront été minées peu « à peu par l'action des eaux, et alors les couches so-« lides, n'étant plus soutenues par leur base, se seront « brisées et auront produit ces immenses amas qui « donnent aux sites de cette forêt un aspect sauvage « et pittoresque. »[1]

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XIII, page 68.

Le même savant a observé dans le nord de l'Europe des preuves irrécusables de grands courants qui ont raviné le sol, et qui, selon les circonstances, ont déposé sur des localités restreintes ou étendu sur de larges surfaces une immense quantité de débris.

« Dans les régions montagneuses de la Norwège, il « y a des vallées bordées de flancs continus, comme « dans les Alpes, les Pyrénées et les Vosges, et dans « les parties où le dépôt de transport est un peu épais, « on y remarque souvent de belles terrasses disposées « en gradins, ayant jusqu'à 20 et 30 mètres de hau- « teur; ainsi, leur absence en Suède et en Finlande « tient uniquement à une différence dans la structure « du terrain. La formation des magnifiques terrasses « que l'on voit près de l'embouchure des larges vallées « norwégiennes dans la mer, ainsi que dans les anciens « fiords de Drontheim, deVærdalsören, dans la Fin- « marck, etc., paraît dépendre de l'action des eaux « marines, lorsqu'elles s'élevaient plus haut qu'aujour- « d'hui; mais il y a aussi des terrasses à une altitude « de 500 à 600 mètres au-dessus de la mer.

« Les grands fleuves de la Suède, le Dal-elf, le Ljusne- « elf, le Gota-elf, etc., ne coulent point entre des pa- « rois rocheuses continues; ils sont simplement bordés « de collines détachées et laissant entre elles des in- « tervalles vides : on comprend alors que les courants « diluviens de la Suède n'ont point été resserrés entre « des barrières continues, mais se sont répandus uni-

« formément sur toute la contrée. Par suite, il y a eu « diffusion des matériaux transportés sur de très-vastes « surfaces, et non agglomération au sein des vallées, « d'autant plus que le mouvement des agents de trans-« port a eu lieu, dans beaucoup de cas, obliquement « par rapport à ces vallées; en outre, leur fond n'offre « pas une pente graduelle et continue, mais une succes-« sion de parties plates, souvent occupées par des lacs, « et de cascades formant comme des barrages natu-« rels; des fleuves placés dans de semblables conditions « ont peu de tendance à approfondir leur lit et se rap-« prochent des rivières canalisées. Ces digues de granit « et de gneiss maintiennent le niveau des eaux dans « des conditions de fixité qui contrastent avec le chan-« gement perpétuel de niveau qu'éprouvent beaucoup « de grandes rivières de l'Europe, lorsque leur régime « n'a pas été réglé par des travaux d'art. »[1]

Le loess de la vallée du Rhin atteste l'ancienne élévation de ce fleuve.

Cette masse non stratifiée, qui a tous les caractères d'un transport violent, alterne sur plusieurs points avec les déjections volcaniques. Dans les environs de Bonn, il est évidemment supérieur à ces lits de cailloux roulés, pareils à ceux que le Rhin charrie aujourd'hui. « L'origine du loess, dit M. Horner, est toujours

---

1 Durocher, Bull. de la Société géolog. de France; 2.e série, tome IV, page 58.

« incertaine; il est évident seulement qu'il vient de plus « haut que Schaffhouse..... Tout paraît faire présumer « qu'il a été déposé par une masse d'eau chargée de « limon et douée d'une vitesse assez grande pour trans- « porter ces débris depuis Bâle jusqu'à Bonn, avant « qu'ils pussent tomber au fond de l'eau. »[1]

Très-souvent le terrain diluvien des plaines est le résultat de la rencontre de deux anciens cours d'eau qui, à l'époque de leur puissance, arrivaient sur un angle peu aigu et accumulaient un delta à leur point de jonction. Il se passait en grand à cette époque, ce qui a lieu de nos jours plus en petit, ou quelquefois même sur une échelle presque aussi étendue dans les contrées équatoriales.

M. de Rois a signalé, près de Montereau, sur la route de Montargis, un dépôt diluvien, qu'il considère comme ayant été formé par le confluent de deux rivières, la Seine et l'Yonne, à une époque très-reculée où ces cours d'eau avaient une grande puissance, et pouvaient amener de très-loin des débris très-divers de granit, de calcaire jurassique, etc., qui se mêlaient aux silex de la craie enlevés des localités moins éloignées.[2]

En parlant du diluvium du département de l'Aube, M. Leymerie ajoute: « Les choses se passent comme si

---

1 Bulletin de la Société géolog. de France; tome VIII, p. 178.
2 *Idem;* tome IX, p. 41.

« les dépôts dont il s'agit (ceux des vallées de la Seine, « de l'Aube et de l'Armance) s'étaient opérés par l'ac- « tion des courants qui auraient suivi la direction et « le sens des rivières actuelles, mais qui auraient eu « une violence bien plus considérable. »[1]

Le centre de la France offre aussi de nombreux exemples du volume autrefois remarquable des cours d'eau et de leur grande diminution. En suivant la route du Born à Bagnols-les-Bains, dans la Lozère, on voit sur plusieurs points le granit et le micaschiste qui ont été mis à découvert par le Lot à des hauteurs que cette rivière ne peut plus atteindre aujourd'hui. Il est facile de reconnaître que ce courant a dû avoir une puissance plus grande pour avoir dénudé toutes les masses de rochers et avoir emporté des chapeaux de lias qui les couvraient, et qui, selon toute apparence, ne formaient qu'une large nappe, aujourd'hui divisée en une multitude de lambeaux.

L'Allier, maintenant faible rivière, qui pendant quelques mois seulement peut porter bateau, a été assez volumineuse pour enlever des masses énormes de calcaires tertiaires, séparer des montagnes, telles que Saint-Romain et Corent, polir la surface des arkoses, comme si des glaciers les avaient usées, mais sans les strier.

---

1 Leymerie, Sur les dépôts diluviens du département de l'Aube et particulièrement sur celui qui se rapporte à la vallée de la Haute-Seine. Bullet. de la Société géol. de France; t. XIII, p. 63.

Quand on examine près de Pont-du-Château le lit de l'Allier et ses bords à une assez grande distance, on voit bientôt qu'il occupe une grande largeur qui rarement est remplie; cela arrive cependant à de longs intervalles pendant les grosses eaux du printemps ou de l'automne; mais au delà et à une certaine distance de ces limites, des deux côtés du lit actuel, ou, si l'on veut, du lit historique de la rivière, en y comprenant toutes les variations de son cours, on trouve une terrasse dont les couches sont calcaires, recouverte aussi de cailloux roulés et qui annoncent une grande extension de la rivière. Ces mêmes caractères se retrouvent en plusieurs endroits où des affluents qui n'existent plus ou sont réduits à de minces filets, viennent verser leurs eaux dans ce grand courant diluvien, auquel on doit en partie le ravinement du sol tertiaire et des basaltes de l'Auvergne.

Ce n'est pas du reste sur une petite partie, mais bien sur une très-grande étendue de notre globe, que de grands courants ont produit des effets analogues. Le professeur Rogers les a remarqués dans l'Amérique septentrionale, et leur a attribué le creusement de la gorge profonde dans laquelle coule le Niagara après sa chute : d'énormes blocs roulés de syénite lui ont fait reconnaître l'existence et la direction de ce courant.

Le président John Gibson a publié aussi [1] des détails

---

1 *American Journal of sciences and arts;* vol. XXIX.

très-curieux sur des anciens courants. Il croit qu'un cours d'eau immense a creusé la longue chaîne de lacs que l'on trouve dans l'Amérique du nord, depuis la rivière Mackenzie jusqu'aux frontières septentrionales de la Pensylvanie. Il ne peut attribuer le creusement de ces lacs aux eaux actuelles; le grand nombre et la nature granitique et volcanique des blocs roulés que l'on retrouve partout dans cet immense trajet, lui font penser, que la masse d'eau qui a dénudé ces vallées et formé tous ces profonds bassins, a dû partir de l'océan Pacifique, un peu au sud du détroit de Behring, pour se décharger en partie dans le golfe de Saint-Laurent, en partie dans celui du Mexique. Les débris des formations entraînées couvrent le sol sur les bords de l'Ohio et du Mississipi jusqu'à Natchez, vers le sud.

M. Éverett[1] a remarqué au nord d'Agilwar à diverses hauteurs, de 66 à 100 mètres au-dessus du niveau actuel du Gange, des terrasses planes, formées de graviers ou cailloux tout à fait semblables à ceux qui en forment le lit. Cette circonstance se retrouve jusqu'à sa source.

Le trait le plus saillant de la région septentrionale de l'Amérique, est la grande chaîne des lacs qu'elle renferme, présentant, avec le lit de Saint-Laurent, l'immense étendue de 94 000 milles carrés, avec une profondeur moyenne de 1000 pieds dans les grands

1 *Asiatic Journal;* décembre 1835.

lacs. C'est l'amas le plus considérable d'eau douce qui existe, et il occupe environ le quart de tout le bassin du fleuve Saint-Laurent. On estime qu'il contient 11 300 milles cubes d'eau douce, c'est-à-dire, au delà de la moitié de toute celle qui existe à la surface du globe.[1]

Or, comme nous l'avons déjà vu, ces nappes d'eau ne sont qu'un reste de celles qui couvraient cette partie du nouveau monde.

Le grand nombre de cavernes à ossements qui servaient autrefois de passage à des cours d'eau pendant la saison des pluies ou des fontes de neige, et la grande élévation de l'ouverture de plusieurs de ces cavernes au-dessus du lit actuel des rivières, nous prouve quelle immense différence existe entre la quantité d'eau qui circule aujourd'hui et celle qui autrefois a charrié et déposé le limon rouge ou jaune dans lequel la plupart des ossements sont ensevelis.

Enfin, un fait qui s'explique de lui-même, en admettant l'augmentation des fleuves et des rivières, c'est la création sur des points qui sont aujourd'hui émergés d'immenses deltas, qui ont les plus grands rapports avec ceux qui se forment encore à l'embouchure des grands fleuves d'Amérique et d'Asie.

Il est nécessairement résulté d'un mouvement si considérable et si continu, d'une circulation si active

---

1 S. Forry, *Americ. Journal of sciences;* juillet 1844. Bibl. univers.; nouv. série, 10.e année, mai 1845, page 140.

des eaux, non-seulement des dégradations, mais aussi d'immenses créations dont nous avons déjà parlé.

Aussi, comme l'avait très-bien remarqué Saussure : « Ce ne sont pas toujours les rivières où se trouvent « des cailloux, qui les ont déposés sur leurs bords; sou- « vent ces cailloux ont été transportés, dans les lieux « où coulent ces rivières, par d'anciens courants qui « n'ont rien de commun avec elles, et souvent la ri- « vière actuelle n'a fait que mettre ces cailloux à dé- « couvert, en entraînant les terres et les sables qui les « cachaient à nos yeux. »[1]

La même remarque a été faite par M. Studer, dans les vallées des Alpes : « Le sol des vallées molassiques « et de la plaine suisse est recouvert d'une couche de « gravier et de sable, qui parfois atteint une épaisseur « de plus de 100 pieds : c'est le *diluvium*. Par sa na- « ture, ce dépôt correspond exactement aux dépôts « charriés par les torrents actuels des Alpes. Les roches « prédominantes sont les calcaires et les grès alpins, « mélangés de cailloux du Nagelflue. Les galets sont « toujours arrondis, mais atteignent rarement la gros- « seur de la tête. C'est dans ce diluvium et même « plus profondément que les rivières actuelles ont « creusé leur lit. Les terrasses superposées indiquent « des alternances entre les époques de repos et celles « de travail. Ces puissantes masses de gravier sont

1 Saussure, §. 1323:

« recouvertes par un diluvium plus récent, le plus « souvent sans stratification, contenant des galets « grands et petits, ronds et anguleux, et des blocs « de plusieurs toises de diamètre, enfouis dans une « argile sableuse; les plus grands blocs sont tantôt « isolés, tantôt réunis par groupes, les uns arrondis « et émoussés, malgré leur grande taille, d'autres « plus ou moins anguleux. Ce diluvium récent est « tantôt adossé contre les collines molassiques, tantôt « il forme des digues ou collines allongées de 20 à « 100 pieds de hauteur, courant d'ordinaire parallè- « lement au pied des pentes ou bien dirigées trans- « versalement dans la vallée. La seule différence qui « se remarque entre les blocs de ce diluvium récent « et les véritables blocs erratiques, c'est que ces der- « niers sont isolés et dégagés, tandis que les premiers « sont souvent enterrés dans le limon ou le gravier. « Il existe une ressemblance frappante entre ces digues « formées de matières de transport et le tableau que « l'on nous fait des *osars* de la Suède. Or, si la théorie « des glaces par laquelle des géologues célèbres ont « cru devoir expliquer ce phénomène en Suisse, est « réellement de toutes les théories que l'on a propo- « sées jusqu'à ce jour celle qui convient le mieux aux « faits, la même théorie doit aussi, à mon avis, s'ap- « pliquer au phénomène que présente la Suède.»[1]

---

1 Studer, Bibl. de Genève; mars 1842, page 144.

Les cailloux roulés que l'on trouve à la surface du sol peuvent appartenir à des temps antérieurs à la période actuelle ou diluvienne. Du moment où l'eau a commencé à séjourner sur la terre, les alluvions se sont formées. Les cailloux roulés existent en abondance dans les grès les plus anciens; ces cailloux, pour former ces assises sédimentaires, ont dû être transportés, et il a dû en rester aussi d'isolés sur le terrain. Or, si depuis cette époque aucun autre terrain ne s'est déposé sur le premier, les galets doivent y être encore, si toutefois ils étaient situés hors de l'atteinte des courants et des lavages subits produits par les soulèvements, etc. Mais, s'il reste sur le sol très-peu de cailloux qui datent des anciennes périodes, il doit y en avoir provenant d'époques géologiques plus récentes, quoique encore très-éloignées de la nôtre. On ne doit et on ne peut considérer les alluvions comme modernes qu'autant qu'elles reposent sur des terrains dont l'origine est elle-même très-récente; car le phénomène diluvien, dont l'époque actuelle n'est que la continuation affaiblie, n'était lui-même qu'un diminutif et une conséquence des lavages plus anciens, qui ont commencé et se sont succédé sans interruption depuis les premières pluies jusqu'à nos jours. Quoique les pluies aient dû être plus abondantes aux premières époques géologiques qu'aux dernières, ce n'est réellement que lorsque les soulèvements ont eu émergé une certaine étendue de terrain que les lavages et les charriages

ont acquis leur maximum. Ils n'ont pu avoir lieu sur une grande échelle que lorsque dès sommets très-élevés ont été créés et soulevés. Alors seulement la fonte des neiges, les pluies tropicales se sont présentées simultanément, en sorte que c'est bien réellement à partir des terrains tertiaires jusqu'à nos jours que les grands charriages ont eu lieu. Nous avons voulu seulement faire remarquer qu'il y en avait eu d'antérieurs. Dans tous les cas il faut se rappeler que tous les dépôts de transport proviennent d'un sol antérieur, auquel il faut restituer par la pensée tout ce qui lui a été enlevé, ce qui comble bien des vallées, élève bien des sommets et explique des transports que des sillons nouvellement creusés et des cours d'eau anciennement étalés, aujourd'hui encaissés, ne permettent plus de comprendre sans rétablir les choses comme elles étaient autrefois.

C'est ainsi que l'on peut remonter sans interruption du grand dépôt de la Crau à l'époque actuelle et reconnaître que cette vaste plaine est due aux charriages du Rhône et de ses affluents, et, comme le remarque M. Renoir, à mesure qu'on s'éloigne des Alpes, les cailloux quartzeux deviennent plus fréquents, pour dominer plus loin presque exclusivement, comme si cette espèce de roche eût été plus capable que les autres de résister aux frottements et aux causes de destruction.[1]

1 Renoir, en parlant de la vallée de l'Isère, entre Grenoble et Vienne. Bullet. de la Société géolog. de France; t. XII, p. 72.

A une certaine époque de la période diluvienne on voit survenir des changements dans le transport des matériaux, qui deviennent généralement plus gros, et l'on y remarque une sorte de périodicité ou d'alternance, qui n'a pu être déterminée que par l'apparition des glaces, événement qui sépare, comme nous l'avons déjà dit, les transports anciens de ceux auxquels nous assistons. Il y a eu toujours périodicité pour le retour des pluies à certains mois de l'année; mais, lorsque ces pluies s'augmentaient de toute la masse de neige déposée aux pôles ou sur les sommets pendant l'hiver, il devait en résulter des effets tout différents, puisque la puissance des causes était aussi augmentée.

Les torrents qui sortent des glaciers offrent une eau un peu laiteuse, chargée de particules extrêmement fines qui résultent du broyement continuel des roches, causé par le frottement de la glace, et, comme celle-ci s'arrête en hiver, les eaux, moins abondantes, sont alors parfaitement limpides. M. de Charpentier suppose même que, dans cette saison, les glaciers ne fondent plus naturellement, et que l'eau qui s'en échappe pendant cette période d'immobilité, est le résultat des sources qui naissent sous le glacier et en fondent une petite portion. Il y avait donc repos presque absolu; mais la fonte périodique des glaces devait amener des alluvions dont les couches se déposaient tumultueusement pendant

le printemps et le commencement de l'été; mais ensuite les torrents ralentis ne devaient plus abandonner à l'automne et pendant l'hiver que des matières plus ténues qui alternaient avec les premières, et devaient former ces lits superposés que l'on rencontre partout.

C'est ce qu'a très-bien décrit M. Renoir, en parlant de l'ancienne extension des glaciers.

« S'il sort encore de dessous nos glaciers, tout ré-
« duits qu'ils sont, des rivières, dont plusieurs, dans
« la saison favorable, sont puissantes dès leur origine,
« combien plus grandes encore n'ont pas dû être celles
« qui s'échappaient de ces immenses masses de glaces
« qui recouvraient peut-être des contrées entières,
« surtout pendant la fusion qui les a réduites à l'état
« actuel; fusion qui aura été rapide, si le retour de la
« chaleur a été prompt.

« Or, les torrents de nos glaciers amènent quelque-
« fois, de dessous ces derniers, des quantités si consi-
« dérables de sables, de gros graviers et même de
« cailloux, que la campagne en est couverte au loin;
« ne serait-il donc pas permis d'attribuer aux grands
« courants, qui descendaient des anciennes masses,
« ces mélanges de sables et de cailloux roulés qui en-
« combrent encore aujourd'hui nos vallées basses, et
« que l'on peut suivre sans interruption jusqu'à la
« hauteur des glaciers actuels ou des lieux qui ont
« porté les anciens, sans avoir recours à des hypothèses

« de cataclysmes, dont les effets seraient différents de « ce que nous voyons. »[1]

Seulement il n'est pas besoin d'admettre, comme M. Renoir, une fonte rapide de ces anciens glaciers, pour obtenir les grands terrains d'alluvion qui entourent la base de toutes les montagnes; il suffit de se rappeler la longueur que dut avoir la période d'*expansion glaciaire,* pour comprendre les immenses dépôts qui ont dû résulter de la fonte et de l'alimentation périodique des nevés et des glaciers.

La plaine de la Crau, avec ses singulières masses de quartz roulés, ne peut avoir été formée qu'à cette époque, lorsque chaque année le Rhône et ses affluents, qui ne grossissent encore qu'à la fonte des glaciers, pouvait transporter ces énormes galets et remplir un lit extrêmement étendu.

Saussure, tout en attribuant le transport à d'autres causes, l'a décrit avec son admirable talent.

« Ce courant, resserré d'abord entre les montagnes « du Vivarrais, d'un côté, et celles du Dauphiné et de « la Provence, de l'autre, se dilata aux approches de la « Méditerranée, où ces montagnes s'abaissent ou s'écar- « tent; alors il déposa les cailloux qu'il entraînait, et « ces cailloux furent nivelés, soit par le courant même

1 Renoir, Note sur les glaciers qui ont recouvert anciennement la partie méridionale des Vosges. (Bulletin de la Société géologique de France; tome II, page 65.)

« qui les déposait, soit par la mer dans laquelle ce « courant venait se dégorger ; et, comme ce torrent « descendait dans le même temps par les gorges de « toutes les montagnes, il n'est pas étonnant de trouver « dans les cailloux qu'il roulait un mélange de toutes « les pierres dont ces montagnes sont composées. »[1]

Quelques personnes ont voulu voir, même dans les cailloux de la Crau, la preuve de l'extension d'un immense glacier qui aurait occupé tout le lit du Rhône. M. Renoir va déjà trop loin, en considérant le terrain de transport de l'Isère et du Rhône, vers le confluent de ces deux rivières, comme dû à l'action des glaces ou comme formant la moraine d'un grand glacier.

M. Leymerie, qui a vu le terrain de transport dont parle M. Renoir, et qui a étudié avec détail celui de la vallée du Rhône sur toute l'étendue comprise dans les limites de ce département, terrain qui n'est qu'un prolongement de celui du Dauphiné, y voit, non une moraine de glacier, mais bien un dépôt produit par des eaux torrentielles venant des Alpes et dont l'action violente était interrompue par des périodes de tranquillité.

Les transports du diluvium du Dauphiné et de la vallée du Rhône « s'expliquent, au contraire, tout naturellement par l'action d'eaux torrentielles qui seraient « venues former un grand lac au pied des Alpes. »[2]

---

1 Saussure, §. 1596.

2 Bulletin de la Société géologique de France; t. XII, p. 84.

Mais ces eaux torrentielles provenaient évidemment de la fonte des glaciers supérieurs.

Des matériaux très-lourds pouvaient, du reste, être entraînés par ces courants; car on sait que tous les corps pesants perdent dans l'eau la majeure partie de leur poids, et, comme leur pesanteur spécifique est ordinairement entre 2 et 3, ils peuvent donc être transportés facilement, pour peu que le courant ait de vitesse et de puissance.

Une autre cause qui agissait alors, et qui agit encore sur le transport des matériaux et des roches, c'est l'accélération, qui résulte presque toujours de la réunion de plusieurs cours d'eau qui, coulant dans un lit proportionnellement plus étroit, marchent avec plus de vitesse.

Des actions d'une grande puissance devaient surtout se manifester quand les rivières ou les vallées étaient dirigées du sud au nord. Le dégel, arrivant d'abord vers la partie méridionale, produisait des torrents qui partaient avec rapidité et devaient souvent se trouver arrêtés par des portions non dégelées qui formaient des barrages, des glaces flottantes, etc., et devaient même, dans certaines circonstances, créer des lacs momentanés, dont la débacle arrivait à mesure que le soleil avançait.

Les dépôts diluviens rayonnent autour des montagnes; mais il a dû y avoir d'assez grandes différences dans l'époque de fusion des glaciers, époque qui de-

vait en effet varier, suivant l'exposition. Les débacles devaient commencer au sud, puis à l'est, à l'ouest, et enfin au nord, où les neiges devaient rester plus longtemps accumulées.

Ces cours d'eau, alternativement gonflés, torrentiels et tranquilles, expliquent parfaitement ces grands dépôts de terrains diluviens, nivelés par une vaste nappe d'eau, puis morcelés ensuite par un courant, qui suit à peu près la même direction et qui semble avoir remplacé le premier, sans suivre exactement son lit. Ces effets ont été très-bien décrits par M. Boué.

« Si un cours d'eau a changé plusieurs fois de lit, « en diminuant graduellement de volume, on aura « donc plusieurs anciens lits ou excavations plus ou « moins reconnaissables, et en outre plusieurs séries « d'îlots, ou de hauteurs dirigées chacune dans un sens « particulier. Plus le volume d'eau aura été grand, plus « ces îles seront considérables et élevées. A chaque « changement de lit il y aura une destruction partielle « du canal ancien, et du tout ou d'une partie des îlots « déjà formés. »[1]

C'est ce que l'on voit encore de nos jours dans les régions chaudes du globe et surtout en Amérique.

Pendant les inondations du printemps les grands fleuves, et notamment le Mississipi, détrempent une partie des falaises qui tombent et sont entraînées.

---

1 Boué, Bullet. de la Société géol. de France; t. VIII, p. 65.

Les îles sont détruites et charriées, d'autres se forment et des plaines immenses sont ainsi couvertes d'alluvions par des fleuves qui changent de lit, de vîtesse et de volume, détruisant une année ce qu'ils ont édifié pendant plusieurs autres.

Dans nos contrées même nous voyons tous les jours, en étudiant les causes actuelles, que l'eau agit exactement comme autrefois, mais tous ses effets s'opèrent sur une plus petite échelle; il arrive cependant encore de ces catastrophes, heureusement très-rares, qui nous rappellent ces anciennes dévastations.

En 1840, les inondations du Rhône s'étendirent sur les départements du Gard et des Bouches-du-Rhône, sur une surface immense. Le fleuve se versait dans la mer par une embouchure de 60 kilomètres de largeur, depuis le fort de Bouc jusque bien au delà d'Aiguemortes. Cette ville ferma ses portes et les calfeutra par derrière; elle put ainsi rester à sec pendant que toute la campagne était inondée et toutes les communications interrompues. Elle resta ainsi plusieurs mois en 1840, et très-longtemps aussi en 1841; la ville recevait par eau ses approvisionnements. Nous avons vu les lieux peu de temps après, et de vastes alluvions, composées de très-petits cailloux et de limon, s'étaient déposés sur toutes ses campagnes. Les quartz de la Lozère étaient arrivés jusqu'à la Méditerranée. Que l'on juge maintenant de l'étendue de ces fleuves à l'époque où, gonflés par

des neiges abondantes et des pluies diluviennes, ils roulaient rapidement leurs eaux puissantes dans le bassin des mers.

Une grande inondation indiqua pour ainsi dire au célèbre Saussure le mode de formation des osars ou collines alluviennes de la Suède.

« Entre Pavie et Novi les débordements du Pô et « de la Scrivia avaient causé d'affreux ravages; les « eaux venaient de se retirer, laissant les campagnes « ensevelies sous des amas de sable et de graviers. « Pour tirer quelque utilité de ce triste spectacle, « j'observai avec soin la situation qu'avaient prise « les couches dont étaient composés ces amas : je vis « que sur des terrains unis ces dépôts formaient des « espèces d'ondes en pente douce du côté du haut (le « côté choqué) ou du côté d'où venait le torrent, et « escarpées du côté opposé (le côté abrité). Cette « observation me donna la clef de la situation des « bancs de nos collines tertiaires ou de celles qui sont « composées de sable, de graviers et d'autres débris « accumulés par les eaux. Dans les lieux où les eaux « n'ont rencontré aucun obstacle, ces collines sont « toutes escarpées du côté des plaines et descendent « en pente douce du côté des montagnes, d'où sont « venus les courants qui les ont formées.

« Mais lorsque le courant avait rencontré quelque « obstacle invincible, tel qu'une grosse pierre ou un « buisson élevé et touffu, alors le monticule de dé-

« pôts se terminait en pente douce au-dessus de « l'obstacle. »[1]

Les orages, qu'on ne voit guère qu'en été et dont la violence est généralement en raison de l'élévation de température et de la quantité d'eau qui se trouve en dissolution dans l'atmosphère, devaient avoir bien plus de puissance quand la température de l'air était plus élevée, et si, comme tout porte à le croire, une certaine quantité d'électricité terrestre est décomposée par l'acte même de la végétation et par l'évaporation des liquides, on conçoit toute l'intensité que devait acquérir ce phénomène à l'époque géologique dont nous nous occupons.

L'électricité de l'air ne se montre plus en effet dans les zones refroidies du globe.

Pendant le voyage de M. Scoresby dans les régions accessibles les plus rapprochées du pôle nord, il n'a jamais vu entre 68 et 75° de latitude le moindre signe d'électricité atmosphérique. Ainsi, que le fluide électrique soit développé par la végétation ou l'évaporation, ou par toute autre cause, il n'en est pas moins vrai que la chaleur favorise son accumulation dans l'air et que le froid s'oppose à son développement.

Déjà à l'époque actuelle on a des exemples de grandes inondations produites par des orages extraordinaires. C'est ainsi qu'en 1829, le 2 et le 3 août, le

---

1 Saussure, §. 1329.

quart de l'étendue territoriale de l'Écosse se trouva bouleversée par une inondation subite : « Les cataractes du ciel étaient ouvertes; toutes les rivières « avaient quitté leur lit; ce vaste bassin ne formait « qu'un océan : routes, moissons, édifices, plantations, « forêts, vieilles roches, tout avait disparu; le paysan, « dont la chaumière s'élevait sur une colline, était « entraîné avec elle par le torrent..... Le flot emportait les collines; on voyait des portions de terrains « avec leurs fermes, leurs bestiaux et leurs cultivateurs, flotter au gré de ce déluge, comme des flocons de neige que le ruisseau emporte dans son « cours. Des routes de dix lieues se sont effacées; des « ponts de granit, bâtis sur le roc vif, se sont brisés « et réduits en poudre; les plus riches pâturages se « sont convertis en montagnes de sable; des forêts « déracinées ont suivi le cours du torrent; des fleuves « arrachés à leur ancien lit se sont frayés une route « nouvelle. Toute la topographie de cet immense district a été changée. Il est impossible d'y reconnaître « une seule des propriétés, des lignes de démarcation « et des limites autrefois existantes.

« Pendant que ce nouveau déluge d'Ogygès accablait le comté de Moray et le submergeait, le ciel « était en flammes. La foudre retentissait de toutes « parts. Les hauteurs, sur lesquelles se réfugiaient les « malheureux que le flot poursuivait, étaient sans cesse « frappés des éclats du tonnerre : c'était un effroyable

« conflit de toutes les forces de la nature conjurées « contre l'homme. »[1]

Ces inondations désastreuses eurent lieu simultanément; la longueur totale de la ligne de débordement ne dut pas être de moins de 180 à 220 lieues pour les différentes rivières dont les eaux abandonnèrent leur lit.[2]

Si de telles catastrophes peuvent encore avoir lieu de nos jours, sous une latitude aussi haute qu'en Écosse, combien ne devaient-elles pas être plus fréquentes et plus terribles à une époque où toutes les conditions qui peuvent les amener se trouvaient plus propres à les produire par l'augmentation de la chaleur solaire.

Si l'on cherchait un peu dans les temps historiques, on trouverait peut-être des preuves que les eaux qui circulent sur la terre ont diminué de volume et d'étendue. Nous savons bien que l'on attribue cet état de restriction des eaux courantes au déboisement, qui peut avoir quelque influence, mais bien moindre que celle qui lui est généralement accordée, et d'ailleurs en Amérique, où le déboisement a fait encore peu de progrès, M. Alcide d'Orbigny dit qu'il a trouvé des preuves de la diminution des eaux des rivières. Ainsi il a rencontré des coquilles à 14 ou 16

1 Revue Britannique; nouv. série, septembre 1830, p. 28.
2 Lyell, Principes de géologie. Trad.; tome II, page 13.

mètres au-dessus des plus hautes crues actuelles du Parana, qui sans doute a dû couvrir autrefois une grande partie des Pampas. « Mais les rives du Parana, « ajoute M. d'Orbigny, étant couvertes de forêts « vierges, on ne peut à coup sûr attribuer cette dé- « croissance au déboisement. »[1]

Cette observation de M. d'Orbigny était faite pour appuyer une citation de M. Rozet, qu'il empruntait aux Commentaires de César, et ainsi conçue:

« XXXV. Les deux armées étaient en présence, les « camps presque en face l'un de l'autre, et les éclai- « reurs disposés par l'ennemi empêchaient les Romains « de construire un pont et de faire passer les troupes. « Cette position devenait très-embarrassante pour Cé- « sar, qui craignait d'être arrêté une partie de l'été « par la rivière; l'Allier n'étant presque jamais guéable « avant l'automne. »

« Maintenant, dit M. Rozet, l'Allier est guéable en « tout temps et sur une infinité de points; ce qui « prouve la diminution de l'eau des rivières, quelle « qu'en soit la cause, le déboisement ou autre. »[2]

La nouvelle manière de considérer le dépôt du diluvium ne permet pas d'en faire une période distincte, mais une longue série qui, à une certaine époque, a acquis son maximum, puis et successive-

---

1 Bulletin de la Société géolog. de France; t. XIV, p. 266.
2 *Idem.*



ment a diminué d'énergie, liant ainsi les deux époques de transport que les géologues désignent sous les noms de période ancienne et nouvelle.

Nous ne pouvons admettre pour la majeure partie des dépôts diluviens des causes violentes, ni des cataclysmes; nous croyons à une longue période pendant laquelle ces mêmes effets se sont succédé, en prenant graduellement une périodicité annuelle plus marquée.

Les observations de M. Leymerie sur le terrain diluvien de l'Aube l'ont conduit à la même conclusion, « que le diluvium de ce département ne s'est « pas formé instantanément, mais qu'il est dû à un « phénomène assez prolongé qui a eu des périodes de « violence et de tranquillité. »[1]

Il est impossible, en étudiant les terrains d'alluvion, de ne pas y voir une action très-longtemps continuée : une secousse brusque, un lavage de terrain produit par un grand déplacement d'eau, ne peut avoir produit les effets de dénudation que l'on remarque partout sur la terre, et comme le dit très-bien M. de la Bèche :

« Dans tous les cas, les cours d'eau, qui ont pro- « duit les effets nombreux qu'on observe dans les « chaînes de montagnes, doivent provenir de causes « atmosphériques. »[2]

---

1 Bulletin de la Société géologique de France ; t. XIII, p. 65.

2 De la Bèche, Rech. sur la partie théor. de la géol. ; p. 124.

Ces effets ne peuvent être que le résultat de causes longtemps répétées, agissant au moins momentanément avec une certaine violence, et nous trouvons l'origine de ces causes dans les conditions d'un climat plus chaud. En admettant, comme nous croyons déjà l'avoir prouvé, une plus grande intensité de la chaleur solaire, nous arrivons, pour les climats tempérés et pour les pôles surtout, à des conditions dont le climat tropical actuel ne peut nous donner une idée.

Nous supposons que cette chaleur tropicale était due seulement à l'action solaire et non à la chaleur centrale, éteinte depuis longtemps ou du moins insensible à la surface de la terre.

Pendant que le soleil passait d'un hémisphère à l'autre, le pôle, les montagnes, tous les lieux élevés se couvraient de neiges, de nevés, selon les conditions diverses des climats et des localités. Pendant cette même saison, il ne descendait que peu d'eau dans les plaines : c'était la saison sans pluie des tropiques; les sommets seulement condensaient des masses énormes de vapeurs qui tombaient en neige et y restaient accumulées. Au retour du soleil venait la saison des pluies, comme sous les tropiques, et, en même temps, la fonte immédiate des masses d'eau solide accumulées sur toutes les hauteurs; et ces deux causes combinées devaient produire d'immenses courants diluviens, qui se sont renouvelés périodiquement et annuellement pendant la longue série des siècles, et se sont conti-

nués en se modifiant jusqu'à nos jours. Car l'époque diluvienne, qui se lie à la nôtre sans secousse, sans cataclysmes, par le seul fait du changement de climat, dû au refroidissement du soleil, a dû être excessivement longue; et comme, selon toute apparence, l'homme n'est venu sur la terre que dans un temps où les changements principaux étaient opérés, il n'a pu s'apercevoir positivement d'aucune diminution sensible de chaleur; il lui serait du reste très-difficile de les apprécier, puisque ses observations thermométriques précises ne datent que de quelques années.

Les végétaux, plus que les animaux, sont bien des espèces de thermomètres, à la sensibilité desquels on peut avoir confiance; mais on n'a de renseignements certains et assez reculés que sur les végétaux cultivés, et il faut plutôt rapporter à des considérations commerciales le retrait ou l'étendue de leur culture, qu'à des circonstances climatériques.

Les plantes entièrement spontanées seraient les seules qui pourraient nous donner des indices d'un changement réel, et l'on n'a non plus aucune observation précise sur ce point. Nous ne savons donc pas si de nos jours la chaleur solaire a diminué, et nous verrons, quand nous interrogerons les fossiles, qu'avant l'époque historique elle a bien perdu de son intensité.

Un des effets les plus remarquables que devait produire la fonte presque complète, pendant le long séjour du soleil sur l'horizon, de l'énorme quantité

de neige que l'hiver accumulait sur les pôles, c'est la formation de grands courants sous-marins, dont la puissance était nécessairement en rapport avec la grande étendue du lit des fleuves à cette époque, et, par conséquent, ces courants rapides et si étendus ont dû produire des phénomènes de transport bien autrement importants que ceux que nous pouvons étudier maintenant. La majeure partie de ces grandes alluvions ou de ces immenses sillonnements sont sans doute cachés à nos yeux par l'océan; mais il est bien possible que, sur les portions émergées dans les temps géologiques modernes par des soulèvements continentaux, nous ne rendions pas toute justice à une cause aussi active et presque toujours méconnue.

Les phénomènes relatifs aux saisons des pluies et à la grande intensité du soleil, qui ont lieu maintenant sous l'équateur, se produisaient autrefois sous les pôles; mais il y a toujours eu cette différence qu'il y avait une alternance et une périodicité de causes et d'effets très-différents aux pôles, tandis qu'ils sont presque toujours les mêmes sous la zone torride. Le soleil restant dans la même position et laissant tomber perpendiculairement ses rayons sur le sol, la neige peut s'accumuler, comme cela a lieu, en effet, sur les hautes montagnes; mais le phénomène de fusion reste toujours dans les mêmes limites, et ne peut éprouver, comme en dehors des tropiques, les alternances de température produites par la translation de la terre et l'inclinaison de son axe.

Il est toutefois un fait très-bien observé, et qui est en contradiction avec la théorie que nous proposons. « M. d'Orbigny a signalé à Cobija, à Aréca et sur « toute la côte de l'océan Pacifique, d'anciens lits de « torrents qui, postérieurement aux derniers mouve- « ments du sol de l'Amérique méridionale, auraient, « des sommets au littoral, sillonné toutes les pentes « de la Cordillère. Il est demeuré convaincu, que ces « anciens lits de torrents, tracés sur un sol où il ne « pleut pas depuis les temps historiques, ne sont pas « provenus des pluies locales, mais doivent être attri- « bués à des masses d'eau qui seraient descendues des « Cordillères seulement. Aujourd'hui, jamais un nuage « aqueux ne s'arrête sur les montagnes du versant oc- « cidental, jamais une tache de neige ne se montre de « ce côté des Cordillères; il faut donc, pour expliquer « les torrents, dont les traces s'observent sur un grand « espace, supposer que les Cordillères ont reçu mo- « mentanément des pluies ou des neiges qu'elles ne « reçoivent plus de nos jours; il se serait alors passé « pour cette localité un phénomène aqueux, analogue « à celui dont on a observé les traces sur toutes les « grandes montagnes de l'Europe. »[1]

Un climat ultra-tropical aurait-il amené à l'époque diluvienne des zones tempérées, sur les montagnes que

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XVII, n.° 9, 28 août 1843, page 403.

cite M. d'Orbigny, une condensation de vapeur qui ne peut plus aujourd'hui s'y opérer?

Des changements plus probables dans la direction des vents auraient-ils poussé, à une certaine époque, les vapeurs de l'atmosphère vers cette partie des Cordillères qui n'en reçoivent plus aujourd'hui? Des observations ultérieures expliqueront peut-être ce curieux phénomène que nous avons dû faire remarquer, précisément parce qu'il nous semble en opposition avec les idées que nous avons émises.

CHAPITRE XVI.

DE L'INFLUENCE D'UNE TEMPÉRATURE PLUS ÉLEVÉE QUE LA TEMPÉRATURE ACTUELLE SUR L'ANCIENNE EXTENSION DES GLACIERS ET LA DISPERSION DES BLOCS ERRATIQUES.

Soutenir, qu'une température plus élevée que celle de nos climats actuels a été la cause de l'ancienne extension des glaciers, est en apparence une véritable contradiction; mais, puisqu'il semble prouvé que les volcans sont une conséquence du refroidissement du globe, ne peut-il pas se faire aussi que l'on puisse attribuer l'accroissement des glaces à une élévation de température. Nous allons examiner cette singulière question, et nous rappellerons plus loin les principales théories qui ont été émises pour expliquer les grands glaciers qui ont charrié les blocs erratiques dans les lieux où toutefois ceux-ci ont été déposés par cette cause.

D'après notre manière de voir, un glacier n'a jamais pu se former, sans que la quantité de neige tombée dans une année, par exemple, ne dépasse la quantité fondue par le sol ou le climat dans le même espace de temps.

Il est bien évident que, si les quantités tombées et

fondues sur un point du globe sont égales, il ne doit en résulter autre chose qu'une masse d'eau solide accumulée, puis une fonte plus ou moins rapide, et ainsi de suite pendant longtemps : c'est une action diluvienne.

Mais que, dans une année la quantité de neige tombée soit égale à 12, et la quantité fondue égale à 10, il y aura un reste 2, qui attendra la neige suivante; celle-ci sera encore égale à 12, et la fusion égale à 10; le nouveau reste 2 s'ajoutera au précédent, qui alors sera 4, et ainsi de suite pendant une longue série d'années. Tous ces restes superposés formeront une somme considérable qui chargera le pôle ou la montagne; mais comme nous avons reconnu, quelle qu'en soit la théorie, que des masses de neige exposées à des inégalités de température sur des plans inclinés, se transforment en une glace particulière dont les parties sont mobiles ou plastiques et descendent le long de ce plan, nous serons donc forcés d'admettre qu'il y aura là l'origine d'un glacier.

Ce courant, composé de tous les excédants de neige tombés chaque année sur le point culminant, où ces restes ne peuvent fondre par défaut de chaleur suffisante, descend donc vers des points plus bas, et recevant plus de calorique, fond à sa surface et à son extrémité inférieure. Mais, tant que l'alimentation continue à la partie supérieure et qu'elle reste 12, que la fusion dans ces mêmes lieux continue d'être de 10, le

glacier marchera et avancera aussi loin qu'il le faudra, tant qu'il ne rencontrera pas d'obstacle insurmontable, jusqu'à ce que la température du point où il arrivera, lui permette de fondre son excès de 2, alors il restera stationnaire; mais si, par suite, l'alimentation diminue de 2, que la fusion diminue seulement de 1, il est clair que le glacier prendra successivement du retrait. Si, pendant ces mouvements de progression ou de rétrogradation, que nous avons supposé uniformes, il survenait des inégalités dans les causes qui accroissent ou détruisent, c'est-à-dire, dans l'alimentation et la fusion, il est certain que le glacier indiquerait ces inégalités par des oscillations d'étendue, qui pourraient, à nos yeux, altérer les grands mouvements réguliers, comme nous voyons les variations accidentelles du baromètre masquer sous nos climats ses balancements périodiques, si réguliers sous les basses latitudes.

Selon Fourier, si l'enveloppe de la terre était formée de fer forgé, la chaleur qui produit l'alternative des saisons serait, pour le climat de Paris et pour 1 mètre carré de superficie, équivalente à celle qui fondrait une colonne de glace, ayant pour base le mètre carré et dont la hauteur serait environ $3^{m},1$. Admettons ce chiffre, bien qu'il soit inexact à cause des matières dont notre globe est formé. La chaleur centrale qui s'écoule à la surface ne produirait ce résultat que dans un siècle, ce qui équivaudrait à 3 centimètres par an.

On peut donc en conclure, que l'alternative des saisons ne pourrait pas fondre sous le climat de Paris une couche de glace supérieure à $3^m,4$.

Sur les glaciers à une grande élévation et sous des conditions différentes, puisque la température est loin d'atteindre une moyenne de + 10 centigrade, l'ablation, comme l'a observé M. Agassiz, est ordinairement plus considérable; mais souvent aussi, et dans la plupart des cas, c'est l'eau qui tombe sur la glace avec un certain degré de chaleur qui en fond la majeure partie; car, si les glaces ne diminuaient que par l'action directe des rayons solaires, l'ablation serait très-faible. Or, cette seule cause pourrait agir, si la terre entière était couverte d'une calotte de glace; et l'on ne voit pas par quelle circonstance extraordinaire notre globe se serait débarassé de cet immense linceuil.

Si, par suite de conditions atmosphériques quelconques, il tombait sous la latitude de Paris une quantité de neige assez considérable pour qu'elle puisse se transformer en une couche de glace compacte de $3^m,4$, et qu'aucune pluie apportée par des vents méridionaux ne vienne en aide à la fonte de cette glace, le soleil dépenserait sa chaleur à la faire disparaître, et il n'y aurait point de neiges éternelles. L'alimentation et la fusion seraient égales; mais dans une foule de localités les choses ne se passent pas de la sorte. La configuration du sol permet aux neiges de s'accumuler pendant leur ramollissement et de se trans-

former en glaciers, qui se chargent d'une très-grande quantité d'eau congelée, réunie, rassemblée de plusieurs points et dont les épaisseurs diverses, superposées sur une même bande et en général sur une surface étroite, peuvent résister facilement à l'action du soleil et des pluies, en leur abandonnant cependant une partie de leur substance. Au moyen de cette espèce d'alimentation confluente, le glacier peut gagner tous les ans par les réserves successives qu'il accumule chaque année, et la température du point où il va s'éteindre a fort peu d'importance, tant que les ressources d'en haut fournissent à ses pertes. Un capital s'augmente tous les ans, malgré de fortes dépenses, si les revenus les dépassent encore; il s'affaiblit malgré toute l'économie possible, si les rentrées ne peuvent compenser les déboursés.

Il faut donc, pour trouver la vérité, la dégager de toutes ces causes accidentelles, et en appliquant ce raisonnement aux glaciers, nous trouvons que leur extension ou leur retrait sont le résultat d'une lutte entre l'alimentation et la fusion; lutte dans laquelle le degré de chaleur joue certainement un grand rôle, mais en agissant dans le même sens, c'est-à-dire que la cause qui détruit d'un côté, ne peut augmenter d'intensité, sans acquérir aussi une importance proportionnée dans l'alimentation ou la création. Il s'agira donc d'examiner, relativement à des températures diverses, les conditions qui entourent le glacier à son nevé et

à son extrémité inférieure, pour arriver à des conclusions raisonnables.

Or, quel est le géologue qui, après avoir étudié la nature sur le terrain, voudrait nier l'ancienne puissance des cours d'eau?

Quel est celui qui ne reconnaîtrait pas dans les faits que nous avons cités, dans les observations que nous avons faites dans le chapitre précédent, que des fleuves immenses remplaçaient nos fleuves actuels? que tous les cours d'eau étaient dix fois, vingt fois plus grands que de nos jours? Personne, pensons-nous, ne révoquerait en doute que cette énorme quantité d'eau en circulation ne provenait d'une plus grande évaporation et par suite d'une élévation de température; mais si les quantités sont changées, la proportion est restée la même, et puisque nous avons aujourd'hui de petits fleuves et des glaciers peu étendus, pourquoi ne pas accorder aux puissants cours d'eau de l'époque erratique les majestueux glaciers qui ont laissé les traces de leur existence, comme les torrents qui en sortaient ont désigné leurs rives et leurs débordements par des terrasses et des nappes d'alluvions?

Un abaissement de température ne peut pas plus rendre raison des grands glaciers admis aujourd'hui par la plupart des géologues, que les courants diluviens ne peuvent expliquer la séparation ni le classement des blocs erratiques selon la nature de ces débris. Dans les instructives et savantes discussions

entre MM. Martins et Durocher, M. Martins dit qu'un abaissement de 2° ou de 4° au plus, dans la température moyenne, permettrait aux glaciers actuels de descendre jusqu'au lac Léman. Il admet que la température s'abaisse de 1° par 187^{m},5 d'altitude. M. Durocher réduit ce chiffre à 170^{m}; il dit d'ailleurs que l'extension des neiges perpétuelles ne varie pas directement en raison de la température moyenne, mais qu'elle dépend aussi de la température estivale. « Mais « sans faire de calculs qui manqueraient de précision, « continue M. Durocher, il est un moyen plus simple « d'apprécier approximativement quelle devrait être la « température moyenne de Genève, pour que les gla« ciers de la vallée du Rhône descendissent jusqu'au « Léman; c'est d'examiner quelle est la température « moyenne des parties hautes de la vallée de Cha« mouni, de Saint-Nicolas, du Rhône, de l'Aar, etc., « là où se terminent les glaciers actuels; or, cette tem« pérature est en moyenne de + 4 à + 4,50; il fau« drait donc que la température de Genève (9,56) subît un abaissement non de 2°, mais de 5,56 ou « 5,06. »[1]

Nous ne comprenons pas comment un abaissement de 2, de 4 ou de 6° pourrait contribuer le moins du monde à l'extension d'un glacier. M. Durocher a très-

1 Bulletin de la Société géolog. de France; 2.e série, t. IV, page 118.

bien compris que c'était l'alimentation qui devait déterminer l'extension. « On peut reconnaître, dit-il, « par des considérations très-simples, que l'abaisse- « ment de température supposé par M. Martins n'est « point une condition *suffisante* pour satisfaire à sa « théorie; en effet la masse des glaciers éprouve chaque « année une destruction ou une ablation qui n'est pas « entièrement compensée par l'effet de la congélation « produite à leur intérieur. C'est en vertu de l'épais- « seur qu'ils ont dans les parties élevées et qui va en « diminuant de plus en plus vers les parties infé- « rieures, que les glaciers peuvent s'abaisser dans les « régions dont la température moyenne est supérieure « à 0. Il est alors facile de concevoir que le dévelop- « pement d'un glacier en longueur dépend de la puis- « sance des masses de glace et de nevé qui lui donnent « naissance; aujourd'hui les glaciers les plus étendus « n'ont pas tout à fait 3 myriamètres de longueur; « il faudrait donc une épaisseur de glace ou de nevé « incomparablement plus grande pour que les glaciers « diluviens s'étendissent à plus de 21 myriamètres de « son origine, c'est-à-dire à une distance sept à huit « fois plus grande; cette augmentation d'épaisseur « serait en effet justifiée par l'élévation de la zone « erratique au-dessus du fond des vallées, élévation « qui va jusqu'à 1000 mètres; mais il est évident « qu'un abaissement de température de 2° ou 4° n'est « pas une *cause suffisante pour faire acquérir aux gla-*

« *ciers une puissance bien supérieure à celle qu'ils ont* « *aujourd'hui.* »[1]

Tout en admettant que c'est le nevé qui alimente le glacier et peut lui permettre de s'étendre, M. Durocher regarde l'abaissement de température de M. Martins comme n'étant pas suffisant pour produire de si grands effets. D'après notre manière de voir une diminution quelconque dans la moyenne de chaleur d'un lieu tendrait au contraire à faire rétrograder les glaciers, au lieu de les étendre; et en effet, trouve-t-on dans les Alpes que ces torrents congelés s'arrêtent tous dans des lieux dont la température est la même? Nous avons vu le contraire; ceux qui ont les plus grands cirques et les plus volumineux nevés, descendent plus bas que les autres.

Trouve-t-on que dans le nord de l'Europe, au Spitzberg, par exemple, où la moyenne est certes moins élevée que dans les Alpes, les glaciers soient beaucoup plus grands que les nôtres? M. Martins nous dit qu'ils sont réduits à des nevés. A-t-on remarqué dans la chaîne scandinave des glaciers plus étendus que ceux des Alpes?

L'extension des glaciers dépend d'une question d'udométrie; elle est en rapport avec la quantité d'eau qui peut tomber sous forme de neige et s'y

---

1 Durocher, Bulletin de la Société géol. de France; 2.ᵉ série, tome IV, page 119.

maintenir, avec la température nécessaire à une évaporation active; elle trouve sa solution dans la comparaison des causes d'alimentation et de fusion.

Ainsi le phénomène des blocs erratiques alpins, qui a tant occupé les naturalistes dans ces derniers temps, dépend entièrement d'une cause qui n'a pas été suffisamment appréciée et qu'il répugne d'accepter au premier abord. Il dépend non d'une période frigorifique, comme le supposent quelques géologues, mais au contraire d'une température élevée.

L'élévation de température à une époque antérieure est un fait acquis, et il n'y a que deux moyens de l'expliquer; elle ne peut avoir que deux causes : ou la chaleur centrale se faisant jour à travers les couches du globe, ou une intensité plus grande dans l'action solaire.

Une chose remarquable, c'est que jusqu'à présent on s'est préoccupé de la première de ces causes sans s'inquiéter de la seconde, sans chercher si cette dernière n'expliquerait pas mieux les faits. On conçoit parfaitement que les premiers terrains de sédiment aient eu pour origine le mouvement incessant des eaux continuellement évaporées par la chaleur centrale, et que les roches aient été modifiées ensuite de mille manières différentes par le métamorphisme; mais pour les alluvions ordinaires, qui, évidemment, sont descendues de points élevés vers des lieux inférieurs, elles n'ont pu, de même que les blocs erra-

tiques, avoir d'autres causes que l'action solaire plus intense autrefois qu'aujourd'hui. Alors des pluies plus abondantes, alors des neiges et des glaces qui s'accumulaient quand le soleil, passant sur l'autre hémisphère, permettait à l'eau glacée de se déposer comme aujourd'hui, mais en quantité plus grande, sur les pôles et sur les montagnes. De là des fontes, des lavages et des érosions, quand, abandonnant l'autre pôle, le soleil venait fondre de ses rayons ardents toute l'eau congelée sur l'extrémité du globe dont il s'était éloigné pendant six mois.

Les montagnes qui n'atteignaient pas la zone torride, et surtout celles qui ne dépassaient pas le 45.e degré de latitude, étaient soumises aux mêmes alternatives de chaud et de froid. Les plaines conservaient leur température élevée et leurs palmiers; car on conçoit que le dépôt de la neige ne pouvait avoir lieu que sur les pôles et les montagnes. En effet, les blocs erratiques ne se montrent guère sous la zone torride, et cependant ce ne sont pas les hautes cimes qui manquent dans cette région, puisque les Andes atteignent sur plusieurs points une telle élévation, que leurs sommets sont couverts de neiges éternelles sur une très-grande étendue. Ce qui est cause de l'absence des blocs, c'est qu'il n'y a pas et qu'il n'y a jamais eu de ces alternatives de froid et de chaleur capables de donner naissance à des glaciers plus étendus que ceux qui existent maintenant.

Lorsque, localement, les éruptions de quelques volcans fondaient subitement leur calotte de neige, des blocs erratiques ont été entraînés; mais c'est un phénomène local accidentel, et que l'on ne peut comparer ni à celui des Alpes ni à celui des pôles.

Nous avons déjà reconnu que c'est à la chaleur qu'est due la plus grande progression des glaciers. Une élévation de température devait en effet produire une chute de neige très-considérable sur toutes les hauteurs; mais, ne peut-on attribuer aussi une partie de cette alimentation à ces grands courants d'air qui, chargés de la quantité de vapeurs que leur température leur permet de dissoudre, vont ensuite les déposer sur des points refroidis, où elles se condensent?

Le jour de l'équinoxe d'automne, le pôle nord voit terminer sa longue journée, et le soleil se couche pour ne plus reparaître qu'à l'équinoxe de printemps.

En l'absence de cet astre, la portion de terre privée de sa chaleur rayonne comme notre sol pendant la nuit, mais avec cette différence, que, le soleil ne reparaissant plus de longtemps, le rayonnement devient très-actif, et la terre abandonne alors à l'espace, par une de ses extrémités, une partie de la chaleur qu'elle avait acquise, et cela jusqu'à ce qu'il y ait équilibre, c'est-à-dire jusqu'à ce que la terre ait atteint ou presque atteint le froid de l'espace, qui, selon les calculs de Fourier, serait environ de — 50 à — 60°, et de — 142 selon M. Pouillet.

Il est bien probable, cependant, que le pôle ne s'abaisse pas jusque-là et que les parties environnantes, et peut-être même la chaleur centrale, peuvent modifier un peu ce long refroidissement. Toutefois il a lieu, et il doit atteindre son maximum avant l'équinoxe du printemps qui ramène le soleil et la chaleur.

Or, pendant ce refroidissement général d'une des deux régions polaires, la masse d'air qui s'appuie sur cette surface doit nécessairement se contracter, puisque l'on sait que tous les corps augmentent de volume par la chaleur et se condensent par le froid, et que les gaz, comme l'a découvert M. Gay-Lussac, et comme l'ont constaté Dulong et Petit, se dilatent proportionnellement à l'élévation de température. En fixant le coefficient de la dilatation pour chaque degré centigrade à 0,00366, d'après les travaux si précis de M. Regnault, et considérant l'énorme volume d'air qui repose sur ces régions glacées, et les différences de température pour ces contrées entre l'été et l'hiver, on voit de suite quels immenses changements en volume doivent s'opérer dans ces diverses circonstances.

Pour remplacer cette quantité d'air qui vient à manquer en volume, parce que ses molécules se sont rapprochées, privées d'une partie de leur chaleur, il y aura nécessairement absorption et marche vers le pôle d'un courant d'air, qui viendra remplacer celui

qui s'est contracté, et qui se contractera à son tour. Ces courants devront être des vents d'aspiration, c'est-à-dire que le vent du sud, ou le courant qui devra marcher vers le nord, en suivant plus ou moins la plupart des méridiens, se fera sentir d'abord en Russie, puis en Allemagne, en Belgique, en France et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il devienne nul.

Une direction des vents, occasionnée par cette cause, peut produire des courants très-rapides; et, en effet, nous avons très-souvent, dans les mois de septembre, octobre et novembre, des vents du sud très-violents, presque toujours vents d'aspiration, et qui indiquent une cause qui agit principalement à cette époque, c'est-à-dire après l'équinoxe d'automne.

M. Alphonse Blanc a publié dans les Annales de chimie[1] des observations qui appuient cette manière de voir, et il conclut aussi : « que le plus souvent les « vents du sud et du nord qui règnent dans nos cli- « mats, ont leur cause dans le nord; le vent du midi « serait causé ordinairement par une condensation de « l'atmosphère dans les régions polaires, et le vent du « nord par une dilatation dans les mêmes régions. »

Les vents qui se dirigent vers les régions polaires avec une température bien supérieure à celle de ces localités, y déposent l'excès d'humidité qu'ils contiennent, et occasionnent des pluies et plus souvent

1 Tome XLV, décembre 1830, page 421.

des neiges, et ce givre gigantesque qui se forme presque toute l'année pendant les brûmes épaisses de ces tristes contrées. Le pôle agit donc en toute saison, mais principalement en hiver, comme un condensateur sur lequel la neige tombe en abondance.

Si on pouvait calculer la quantité d'air qui passe en se dirigeant sur le pôle, sa température et la quantité d'eau qu'il contient, celle qu'il abandonne par le froid et celle qu'il peut retenir, on aurait certainement un chiffre énorme pour le résultat en neige de cette grande action de transport.

On voit, du reste, que le résultat exprimé en neige est une conséquence de la différence de température entre le pôle et les régions qui l'alimentent d'air chaud; car au pôle même il ne peut guère y avoir évaporation. Or, si nous élevons cette température de l'air qui peut se diriger vers les pôles, si nous admettons, par exemple, que le soleil, étant autrefois plus actif, versant sur la terre une plus grande quantité de chaleur, favorisait l'évaporation et augmentait les pluies, cette augmentation de température donnera une différence en plus pour les neiges; car le pôle rayonnera sous ces conditions comme sous celles qui existent maintenant. Dès que le soleil l'aura abandonné, il se refroidira, et la différence entre la partie du globe refroidie et la zone plus échauffée étant très-grande, les courants d'air acquerront plus de volume, l'air arrivera plus chaud, plus humide, et déposera

de la neige en quantité plus considérable. Ainsi les conditions les plus appropriées à l'accumulation des neiges se trouveront remplies, et comme nous savons qu'un excès de chaleur en été est bien moins important dans la réduction des glaciers, que l'excès d'alimentation ou de chute de neige en hiver, il est évident qu'un accroissement dans la chaleur du soleil est une condition très-favorable à l'extension des glaciers.

Ce que nous venons de dire de la possibilité du transport de l'eau évaporée dans les régions chaudes vers les régions polaires, par les vents méridionaux, et de la nécessité d'admettre la direction de ces courants d'air vers le pôle, qui rayonne fortement aussitôt que le soleil l'abandonne, se trouve en quelque sorte confirmé par les importantes remarques du capitaine Scoresby, pendant son voyage dans les régions arctiques.

« Quant à la neige, dit le savant navigateur, on « peut dire qu'il en tombe 9 jours sur 10, même dans « les mois d'avril, mai et juin. Lorsqu'un vent tem« péré du sud vient se mêler aux brises du nord, re« froidies dans leur passage sur une vaste étendue de « glaces, il se dépose souvent 2 à 3 pouces de neige « en une heure. »[1]

Ces causes d'alimentation reconnues, l'extension et

---

1 Annales de chimie et de physique. Rapport de M. Arago; tome XVIII, page 37.

la marche du glacier sont encore, comme nous l'avons vu, des conséquences de la chaleur.

Il est incontestable que les glaciers marchent plus vite quand il fait chaud; il est bien reconnu aussi que le centre avance plus rapidement que les bords: or, de tels résultats ne peuvent s'expliquer si l'on s'en tient à l'hypothèse du glissement; car alors les bords devraient s'avancer aussi vite que le milieu. Il faut donc admettre avec M. Forbes que le glacier, sans avoir dans chacune de ses parties une plasticité qui lui est propre, est au moins composé d'une infinité de petits fragments, entre lesquels l'eau peut s'infiltrer. Toutes ces petites parties peuvent, en quelque sorte, glisser les unes sur les autres et donner de la plasticité à l'ensemble, tout en conservant une rigidité pour ainsi dire individuelle. Les belles expériences de M. Agassiz ont, du reste, mis hors de doute l'imbibition des glaciers par l'eau et leur structure fragmentaire résultant de leur formation aux dépens du nevé.

Or, plus la température est élevée, plus le glacier est imbibé, et dès lors, plus les fragments doivent se mouvoir avec facilité les uns sur les autres, et cependant avec une sorte d'indépendance.

Il résulte de ces observations, que, si la température de l'époque diluvienne était plus élevée que celle de nos jours, les glaciers devaient marcher plus vite et s'étendre avec plus de facilité, et si pendant l'hiver

ils recevaient une alimentation plus grande qu'aujourd'hui, elle devait compenser, et au delà, la fonte qui avait lieu pendant l'excès de chaleur des jours chauds d'été; dès lors l'étendue de ces glaciers, relativement à ceux de l'époque actuelle, est une conséquence de cet état des choses.

La nécessité d'une température suffisamment élevée pour la production des glaciers a été reconnue déjà par de savants observateurs. « Leur étude, dit M. Ladame, « nous apprend qu'ils sont le résultat de la transfor« mation de la neige en nevé et du nevé en glace plus « ou moins compacte. Nous en conclurons immédiate« ment qu'ils se produisent sous l'influence d'une « température voisine de 0, et que tous les change« ments qu'ils subissent, s'accomplissent en totalité « pendant la saison chaude, à l'époque de la fonte. La « chaleur est donc la cause principale de la formation « des glaciers et la source des faits nombreux qu'ils « présentent. »[1]

Dans les Alpes, ou du moins aux environs du Mont-Blanc, les glaciers sont plus grands à l'ouest qu'à l'est, et surtout les blocs erratiques sont plus nombreux.

Cela tient sans doute à la présence de cirques plus

---

1 Ladame, Passage de la neige farineuse à la neige grenue et de celle-ci à la glace compacte. Biblioth. univers. de Genève; 4.e série, tome III, page 128.

grands du côté du couchant que du côté opposé, et peut-être aussi à la direction générale des vents de l'ouest, qui, alors sans doute comme à présent, arrivaient sur la chaîne des Alpes chargés de l'humidité qu'ils avaient enlevée sur l'Océan et sur les plaines marécageuses de la Bresse et d'une partie de la Suisse.

Toutes les conditions d'alimentation des glaciers sont donc remplies par une élévation générale de la température de la surface du globe et la présence de condensateurs sur certains points où la vapeur peut se déposer congelée.

Examinons aussi les conditions de fusion, qui ont une grande importance, puisque, si cette fusion est égale à l'alimentation, le glacier reste stationnaire.

L'eau arrive sur le nevé toute congelée dans les hautes régions de l'atmosphère; la chaleur, qu'elle a abandonnée pour passer de l'état liquide à l'état solide, est donc restée dans les couches supérieures de l'air, ou s'est dissipée dans l'espace. Lorsqu'au contraire il faut pour la fusion que la glace solide, ramenée déjà à 0, devienne liquide, en conservant cette même température, elle absorbe 79,1 de chaleur latente, qu'elle enlève, elle, aux corps environnants et sans contredit à la chaleur solaire, qu'elle diminue d'autant.

D'un autre côté on sait qu'une grande partie de cette chaleur solaire est réfléchie par la glace elle-même, à cause de sa couleur blanche et de son éclat.

Mais cette grande quantité de chaleur, rendue latente par la glace qui se fond, abaisse réellement la température tout autour du glacier et de tous les lieux voisins.

« On a observé, dit M. Lyell, que tous les 4 à 5 ans « une immense quantité de glaces flottantes, venant du « Groenland, allaient s'échouer sur la côte occidentale « de l'Islande, après avoir doublé le cap de Langaness. « Dès qu'ils les voient s'avancer, les malheureux habi- « tants de ce triste rivage font le sacrifice de leurs « récoltes, sachant que jamais elles ne résistent aux « brouillards qui accompagnent presque toujours la « présence de ces glaces, lesquelles, du reste, n'ont « pas seulement pour effet d'occasionner la disette des « produits de la terre, car le froid qui en résulte « abaisse la température de l'eau au point que tous « les poissons abandonnent la côte. »[1]

« Les glaciers du Spitzberg, dit M. Martins, versent « périodiquement des masses immenses de glaces flot- « tantes, qui abaissent la température des mers du « Nord, diminuent leur évaporation, et rendent les « pluies plus rares et peu abondantes dans les régions « situées au nord du cercle polaire. »[2]

Ces glaces, qui fondent en si grande quantité, doivent refroidir considérablement le climat par la

---

1 Lyell, Principes de géologie, trad.; tome I, page 270.

2 Bulletin de la Société géologique de France; t. XI, p. 295.

quantité de chaleur absorbée que cette fusion rend latente. M. Scoresby a calculé que la masse de glace qui est annuellement détruite sur les côtes du vieux Groenland occupait un espace de 20 000 lieues carrées, et comme il paraît certain que les régions accessibles aux pêcheurs de baleine les plus intrépides ne peuvent fournir annuellement au delà de 5000 lieues carrées de champs de glace, « il ne faut, dit cet infatigable « navigateur, rien moins que la totalité du bassin « polaire pour fournir à l'immense destruction qui « s'opère tous les ans dans le voisinage du cap Fare- « well. »[1]

Ce n'est pas seulement dans le nord que la présence des glaces occasionne un abaissement considérable de température; les mêmes effets ont eu lieu presque sous l'équateur, lors de l'éruption boueuse du volcan de Ruiz. « Heureusement, dit le colonel Joaquin Acosta, « une pluie abondante, qui survint dans la nuit, donna « aux eaux assez d'impulsion pour se frayer un passage « au travers de cet amas d'arbres brisés, de sables, « de roches et de boue fétide, mélangée d'énormes « blocs de glace, qui étaient descendus de la Cordil- « lère en telle abondance, qu'après plusieurs jours ils « n'étaient pas encore entièrement fondus, malgré la « température élevée (28 à 29 degrés) de ces lieux.

---

1 Annales de chimie et de physique. Rapport de M. Arago; tome XVIII, page 7.

« Or, cette masse de glace venait d'une hauteur de
« 4800 mètres, limite inférieure des neiges perpétuelles
« sous cette latitude (4° 50'). C'est la première fois,
« de mémoire d'homme, que les habitants des bords
« embrasés de la Madelaine avaient vu de près de l'eau
« solidifiée par le froid. Plusieurs personnes furent
« gelées, et ce fut un spectacle étonnant que de voir
« les eaux tièdes de la Madelaine charrier des glaçons. »[1]

Des observations faites dans les Alpes sur le bord des glaciers prouvent que l'influence réfrigérante des petites masses de glace ne s'étend pas loin, et la culture souvent très-voisine des glaciers le prouve suffisamment.

La grande quantité de neige qui tombait autrefois, pendant les hivers, dans les régions du nord et sur les montagnes, était une cause très-efficace de l'abaissement de température, à tel point que dans les lieux où cette cause existait et dans leur voisinage, le climat pouvait ne pas être plus chaud en été que de nos jours.

Le froid produit par la présence de la neige est tellement sensible que M. Baër, dans son Voyage à la Nouvelle-Zemble, où la neige ne fond dans la

---

1 Extrait de la relation de l'éruption boueuse sortie du volcan de Ruiz et de la catastrophe de Lagunilla, dans la république de la Nouvelle-Grenade, par le colonel Joaquin Acosta. (Comptes rend. des séances de l'Académie des sciences; tome XXII, page 710.)

plaine qu'à la fin de juillet, en trouvait çà et là après cette époque des blocs énormes et des empilements, qui avaient une si grande action sur l'atmosphère, que dans le Matochkin, par exemple, toutes les fois que le vaisseau passait devant une de ces masses de neige, le thermomètre descendait de 3 à 4 degrés.

Nous savons nous-mêmes dans nos contrées tempérées combien le printemps est froid, lorsque de grandes quantités de neige couvrent les régions qui sont situées au nord de celles que nous habitons; partout où elle tombe en abondance, on est certain d'avoir des froids prolongés et très-intenses. On en a un exemple bien remarquable dans le climat de l'Amérique du nord : sur presque tous les points de ce vaste continent la moyenne de la température est au-dessous de celle des lieux divers situés en Europe sous les mêmes latitudes.

Si l'on décompose cette température, on trouve qu'elle est supérieure ou au moins égale à celle de l'Europe en été et très-inférieure en hiver; ce qui rendrait ce climat semblable au nôtre, si des conditions particulières n'y amenaient pas de grandes quantités de neige. Une fois que celle-ci est déposée, le thermomètre s'abaisse immédiatement, et le froid rigoureux et prolongé des États-Unis tient à l'abondance des neiges qui, pendant 4 à 5 mois, descendent en quantité prodigieuse. Dès le mois de décembre la terre se couvre et dès lors aussi le froid commence, et ce

n'est qu'en mars et même en avril que le printemps s'annonce tout d'un coup, comme en Russie. Si au contraire les conditions étaient telles dans cette partie du nouveau monde, que les neiges ne fussent pas plus abondantes qu'en France, les froids n'y seraient ni plus rigoureux, ni plus prolongés.

Nous avons déjà indiqué que l'évaporation devait être plus grande en Amérique, à cause des grands lacs et de l'immense surface du bassin des fleuves. Cette cause suffit pour prolonger les hivers, et si l'Europe a été soumise autrefois à de semblables conditions, on ne peut douter qu'elles n'aient eu une grande influence sur l'extension des glaciers.

On ne peut révoquer en doute que les pluies n'aient été bien autrement abondantes qu'elles ne le sont de nos jours, et actuellement même nous trouvons qu'à latitude égale pour les zones tempérées, le climat est d'autant plus froid qu'il est plus pluvieux. Ainsi, en France on peut considérer à peu près comme moyenne de la colonne d'eau qui tombe annuellement le chiffre de 50 à 55 centimètres, tandis qu'aux États-Unis, sous la même latitude, la moyenne serait de 1^m à $1^m,10$, ou précisément le double.

Les causes accidentelles déterminent parfois de très-grandes variations dans la température, mais elles n'ont pas de durée. C'est ainsi que pendant le mois de janvier 1835 plusieurs points des États-Unis, situés sur le littoral entre 33 et 34° de latitude,

offrirent des températures de — 17,8 à — 30,5, et d'autres, situés dans l'intérieur, entre 43 et 45°, atteignirent l'abaissement extraordinaire de — 36 à — 40, et pendant ce temps le plus grand froid que l'on ait ressenti à Paris, sous une latitude plus boréale, était de — 6,8.[1]

Le refroidissement causé par la présence des glaces est en effet tellement marqué, que la température moyenne des côtes orientales de l'Amérique est bien au-dessous de celle que l'on trouve sous les mêmes latitudes de l'autre côté de l'Atlantique, et il n'est pas rare de voir dans ces parages, et au milieu de l'été, le thermomètre plongé dans l'eau tomber tout à coup de 7 à 8°, aux approches de grandes masses de glace. Aussi nous ne répugnerions pas à admettre pendant la période erratique des hivers peut-être plus froids que ceux des temps actuels, et cela malgré la chaleur plus forte que nous accordons au soleil. Il faut remarquer, comme nous l'avons déjà dit, que la congélation de l'eau et sa transformation en neige s'opère dans les hautes régions de l'atmosphère où le calorique latent mis en liberté rayonne immédiatement dans les couches d'air supérieures et de là dans l'espace, tandis que la neige, une fois arrivée sur le sol, ne peut fondre qu'en interceptant le contact des rayons solaires et de l'air chaud sur le terrain qu'elle re-

1 Annales de chimie et de physique; tome LXI, janvier 1836.

couvre, et qu'en absorbant une énorme quantité de calorique qu'elle rend immédiatement latente.

Il en résulte qu'une contrée qui se couvre de neige ne profite pas de la chaleur latente qui est rendue sensible par la solidification de l'eau, et qu'elle est obligée au contraire de fournir pour la fusion et l'évaporation une très-grande quantité de calorique, qui était destinée à échauffer son climat et qui disparaît. Il doit donc y avoir des froids prolongés et intenses dans tous les lieux où se trouvent de grandes étendues couvertes de neige. Mais, pour qu'il puisse se déposer beaucoup de neige sur un point, il faut que l'évaporation soit active sur un autre, il faut que de grandes masses de vapeurs puissent se former continuellement et arriver dans des localités où temporairement un abaissement de température leur permette de se transformer en neige. Une fois la neige tombée, la température de ce lieu s'abaisse pour longtemps.

Il est donc très-naturel de concevoir qu'à une époque où la chaleur produisait sur la majeure partie de la terre une grande quantité de vapeurs, tous les lieux un peu élevés qui pouvaient se couvrir en hiver d'une couche de neige incomparablement plus épaisse que celle que nous y voyons aujourd'hui, aient pu en conserver une portion et donner naissance à des glaciers; ils ont existé dans les Vosges, en Écosse, peut-être dans l'Atlas, et dans un grand nombre de localités, où l'on finira par rencontrer leurs traces.

Le peu d'action que le soleil exerce sur la neige et sur les glaces, peut tenir encore à d'autres circonstances.

M. Melloni, en démontrant par des recherches assez récentes que les pouvoirs absorbants des corps pour les chaleurs rayonnantes subissaient de grands changements, lorsqu'on faisait varier la *qualité* des rayons calorifiques, nous indique par cela même que les rayons émanés directement du soleil peuvent n'avoir qu'une faible action sur la neige, et que la chaleur réfléchie sous certaines conditions peut, quoique plus faible, avoir une action destructrice plus grande. Les observations très-justes de M. Fusinieri prouvaient effectivement que la chaleur réfléchie sur la neige par les végétaux vivants ou morts, la fondait plus facilement que la chaleur directe, et des expériences faites par M. Melloni ont complétement expliqué ce phénomène. Elles nous prouvent du moins que toute la chaleur versée par un corps chaud, tel que le soleil, sur la neige, est loin d'être absorbée et de produire tous ses effets.[1]

Un autre genre de refroidissement, sur lequel nous avons appelé déjà plusieurs fois l'attention, est la transformation de l'eau en vapeur.

L'activité de l'évaporation est une cause continuelle

---

1 Annales de chimie et de physique; t. LXVIII, juillet 1838, page 341.

de refroidissement pour la terre. La chaleur qui se combine à l'eau à la surface même du globe, est perdue pour le sol et s'élève à l'état de vapeur dans les hautes régions de l'atmosphère. Là elle cède cette chaleur aux couches d'air supérieures qui rayonnent dans l'espace, et se condense; mais au lieu de retomber directement sur le sol, elle forme des nuages, à la surface supérieure desquels l'évaporation continue par l'action du soleil, en sorte que la même quantité d'eau élevée dans l'atmosphère peut être reprise vingt fois, cent fois, par le calorique émané du soleil, sans que cette chaleur, qui devait, en partie au moins, échauffer la terre, ait pu parvenir jusqu'à sa surface.

Quoique l'air froid contienne moins d'eau que celui qui est échauffé, il n'en est pas moins très-humide dans tous les lieux élevés.

Nous avons déjà rapporté les expériences hygrométriques de MM. Bravais et Martins sur le Faulhorn, comme confirmant ces résultats.

Dans sa mémorable ascension sur le Chimborazo, M. Boussingault trouva l'hygromètre à 91 %, lorsqu'il était plongé dans un nuage, et à 84° hors de cette masse de vapeur, à la hauteur de 5680 mètres.[1]

M. Fournet a fait remarquer aussi, dans son Mémoire sur l'interversion de la température atmosphérique, que l'hygromètre marquait pendant des froids

---

1 Annales de chimie et de physique; tome LVIII, page 161.

très-intenses, à Lyon, à Genève et au Saint-Bernard, de 74° à à 92°.[1]

Enfin nous ne pouvons refuser aux courants d'air qui viennent des pôles une certaine importance parmi les causes nombreuses qui s'opposent à la fusion rapide des neiges et des glaces.

Les vents étant causés par des différences locales dans la température de l'air atmosphérique, qui, sur certains points, se dilate et se contracte et établit ainsi des courants d'impulsion et d'aspiration, qui viennent rétablir l'équilibre, les vents ont dû avoir bien plus de puissance, quand les causes qui peuvent produire des différences de température dans certaines régions étaient aussi plus grandes. C'est ce qui devait résulter d'une augmentation de la chaleur solaire; on conçoit en effet qu'en faisant abstraction de toutes les causes accidentelles qui peuvent modifier la direction et l'intensité des courants d'air, qu'une contraction au pôle nécessite des courants d'aspiration qui forment des vents du sud. On voit également que le soleil revenant au pôle, après avoir successivement échauffé les zones qu'il aura parcourues, dilatera l'air refroidi et donnera naissance à des vents d'impulsion qui viendront du nord, vents qui, dans certaines années, prolongent les froids du printemps

1 Annales de chimie et de physique; tome LXXII, novembre 1839.



et qui ont toujours pour effet, lorsqu'ils passent sur des neiges ou des glaces, de n'en rien fondre; en sorte que ces vents ont pu contribuer ainsi au printemps, en venant du nord, à la conservation des glaciers, comme en automne, en venant du sud, ils ont pu augmenter la quantité de neige destinée à leur alimentation, et ces deux effets ont dû être d'autant plus marqués, que la température de l'hiver et de l'été étaient plus inégales.

Si, comme le dit M. Agassiz, les neiges qui tombent en hiver à la surface même du glacier, n'augmentent pas l'épaisseur de cette surface et fondent aux premiers beaux jours, elles n'en donnent pas moins une grande quantité d'eau, et il a dû en être de même à l'époque où la chaleur était plus grande et ces neiges plus abondantes; mais alors, comme aujourd'hui, c'était le nevé qui alimentait les glaciers.

La grande puissance de rayonnement observée par M. Martins pour le nevé et sans doute aussi pour la neige et le glacier lui-même, est une nouvelle preuve qui vient s'ajouter à toutes celles qui existent déjà en faveur de la faible fusion des glaciers par l'action solaire.

M. Boussingault a trouvé aussi de grandes différences dans la température d'une couche de neige, prise au-dessous ou au-dessus de la couche. Le thermomètre, placé sur la neige, était beaucoup plus bas que celui qui était dans l'intérieur et qu'un autre

suspendu dans l'air. Le rayonnement était donc très-actif.[1]

D'un autre côté, si autrefois la température de l'air était plus élevée et par conséquent l'eau en dissolution plus abondante, il devait y avoir des rosées proportionnées à cette humidité excessive de l'atmosphère et dès lors l'accroissement devait être aussi relatif.

Mais de toutes les causes d'inégalités entre l'alimentation et la fusion, la principale est très-probablement dans l'étendue de la surface du glacier.

Un courant glacé, qui serait dix fois plus considérable qu'un autre, ne présenterait pas dix fois autant de surfaces à l'action de l'air et de la chaleur qui produisent l'ablation, que l'on considère comme une des principales actions destructrices du glacier.

Que l'on prenne sur un même bassin d'eau congelée des morceaux de glace à la même température, et qu'on les façonne de manière à avoir des grosseurs différentes et par conséquent des poids et des surfaces qui le seront aussi. Toutes ces précautions étant prises à une température inférieure à 0, que l'on porte les fragments dans des lieux où l'on entretiendra des degrés de chaleur sensiblement égaux pour chacun d'eux, mais différents dans chaque localité; que la grosseur des fragments soit graduée selon la tempé-

---

1. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XIV, page 405.

rature, en soumettant les plus petits aux températures les plus basses, les plus gros aux plus élevées, et que l'on tienne compte du temps employé pour la fusion complète; on arrivera à cette conclusion que les morceaux les plus volumineux sont ceux qui résisteront le plus longtemps, malgré une élévation très-marquée de température. Les mêmes phénomènes doivent donc avoir eu lieu sur les anciens glaciers bien plus étendus que les nôtres.

On voit donc que toutes ces observations concourent à faire considérer l'ancienne extension des glaciers comme parfaitement en rapport avec une température climatérique plus élevée, et ce même accroissement, comme incompatible avec un hiver éternel, avec une prétendue période frigorique que l'on a vainement cherché à caractériser, et dont toutes les observations consciencieuses, et particulièrement celles de M. Agassiz, tendent à démontrer l'impossibilité.

Augmentez la quantité de vapeur dans l'atmosphère, ajoutez par conséquent à l'intensité de la cause qui peut produire cette vapeur depuis les terrains tertiaires, en un mot, admettez l'ancienne élévation de la température solaire; dès que sur un point quelconque du globe il y aura inégalité annuelle de température, allant d'un côté jusque au-dessous de 0, disproportion d'alimentation et de fusion pour les neiges qui tombent, il y aura production de glaciers proportionnés en étendue aux différences qui existeront entre les deux termes de

l'échelle des températures, ou entre les inégalités annuelles de la recette et de la dépense.

Ne pourrait-on pas voir, dans la différence d'éclat et d'étendue que nous présentent les taches polaires de Mars, quelque chose d'analogue à ce qui se passait autrefois, ou à ce qui a lieu encore sur la terre aujourd'hui? Cette planète, il est vrai, est plus éloignée du soleil que la terre; mais les grandes différences d'attraction à cause de la petitesse de sa masse, la composition de son atmosphère qui nous est inconnue, la longue exposition de chacun de ses pôles au froid et à la chaleur pendant des hivers et des étés de quinze mois, l'inclinaison de son axe sur son orbite, sont autant de causes qui peuvent modifier les saisons et contribuer aux apparences singulières que nous présentent ses deux extrémités.

CHAPITRE XVII.

DE L'ANCIENNE ÉLÉVATION DES MONTAGNES ET DE LEUR ABAISSEMENT SUCCESSIF PAR DÉNUDATION.

Le fait de l'ancienne élévation des montagnes peut aussi avoir une certaine importance sur les quantités annuelles de neiges et sur l'extension des glaciers; car, quoique nous considérions l'augmentation générale de température comme nécessaire à la production d'une grande évaporation, et par conséquent à une forte condensation, nous pensons que, plus les condensateurs comme les pôles ou les montagnes ont de puissance, plus il s'y accumule de vapeurs qui viennent s'y liquéfier et s'y solidifier; et il se peut qu'à une époque ancienne, avec une température très-élevée sous les tropiques, et déjà très-chaude dans les régions tempérées, qui alors devaient être assimilées à la zone torride, toutes les pluies soient tombées seulement sur les condensateurs, d'où elles auraient ruisselé sur les continents.

Il importe donc de considérer l'ancienne élévation des montagnes sous ce point de vue, et il est impossible de ne pas admettre, ou leur affaissement, ou leur destruction. Le tassement paraît une chose

très-naturelle depuis que l'on regarde les montagnes comme le résultat des soulèvements.

Comment d'aussi grandes masses composées de couches disloquées, plissées et souvent brisées, auraient-elles pu acquérir immédiatement leur assiette?

M. de Charpentier avait d'abord, comme on sait, attribué à cette primitive élévation des Alpes l'extension des glaciers, dont il fit remarquer, un des premiers, l'ancienne puissance. Il semblerait aussi que, dans la chaîne des Andes, des ébranlements auraient encore lieu, et les observations remarquables de M. Boussingault tendraient à faire considérer ce tassement comme étant encore en voie de s'opérer aux environs de Quito.

Il y a également dans les Alpes, suivant M. Studer, plusieurs vallées dont l'origine est plus récente que l'événement, quel qu'il soit, qui a placé les couches calcaires dans leurs rapports actuels avec le gneiss. M. Studer attribue ces vallées à des affaissements.

Mais, si cette cause naturelle d'affaissements a dû abaisser la plupart des chaînes de montagnes après leur soulèvement, elle n'a pas dû se manifester pendant des temps relativement très-longs, et nous croyons que l'on doit attribuer de plus grands effets aux causes atmosphériques, dont l'action a commencé en même temps que le soulèvement et se continue encore de nos jours.

Nous avons la preuve et la contre-épreuve de cet

état de choses; car nous voyons ce qui manque aux montagnes, et à une certaine distance nous trouvons les matériaux qui ont été enlevés.

Quand on songe aux masses énormes de matières que les eaux entraînent continuellement et qui s'élèvent dans certaines circonstances à plusieurs centièmes de leur propre poids; quand on réfléchit aux masses prodigieuses d'alluvions qui ont été emportées, on est étonné de la hauteur que les montagnes devaient avoir avant d'avoir cédé à l'eau la majeure partie de leurs débris.

L'érosion ne cesse jamais, et il n'est pas un filet d'eau courante sur la terre qui n'entraîne quelque chose.

On connaît les curieux calculs du major Rennel, rapportés par M. Lyell dans ses *Principles of geology* sur les masses énormes de terrains que le Gange et le Burrampouter enlèvent aux plaines de l'Asie et aux monts Himalaya. M. Horner a trouvé que le Rhin, devant Bonn, transportait par jour 145 981 pieds cubes de débris. Surpris nous-mêmes par une averse en 1845, entre Alais et Anduze, nous avons recueilli sur le terrain tertiaire, au pied des falaises jurassiques, de l'eau qui contenait près de 25 pour % de limon rougeâtre et sablonneux. Ainsi, les rivières et les pluies travaillent constamment à détruire les points les plus élevés et les plus saillants du sol; elles peuvent encore en transporter très-loin les matériaux.

M. Robert a reconnu dans la Loire, à Orléans, du fer titaniaté, des basaltes, des porphyres qui viennent évidemment du plateau central de la France.[1]

La plupart des vallées ont été creusées par l'action érosive de l'eau; car lors de l'émersion des continents, le mouvement alluvien a de suite commencé. Alors il n'existait pas de sillons, à l'exception de ceux qui étaient indiqués par des fentes produites par la dislocation du sol. Il faut donc rendre à ces terrains, au commencement de cette époque, tout ce qui est sorti des vallées et tout ce qui est tombé des sommets par ces alternatives destructrices de gel et de dégel si longtemps continuées, de lavages, de pluies et d'usure chimique ou mécanique. Or, si les sommets étaient plus élevés et les vallées moins profondes, et par conséquent plus hautes, les neiges devaient y être plus abondantes et les glaciers plus longs.

D'un autre côté les cours d'eau, très-considérables alors, n'ayant pas de vallées creusées, s'étendaient en largeur bien plus qu'en profondeur, et lavaient les terrains, les usant et en emportant les débris qu'ils déposaient souvent en larges nappes. Aujourd'hui la plupart des rivières sont encaissées; elles ont elles-mêmes creusé un lit dans des terrains diluviens très-anciens : ce lit est profond et détermine leur direction,

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; nouvelle série, tome II, page 383.

tandis qu'autrefois les grandes masses d'eau agissaient comme de grands lavages, se dirigeant tantôt sur un point, tantôt sur un autre, et changeant de lit à chaque crue périodique et à chaque débordement.

Il a fallu un temps immense pour que l'eau ait pu entraîner de hautes plaines, ouvrir de larges vallées, démanteler des plateaux et abaisser des montagnes élevées composées de roches dures et presque inattaquables.

La période erratique et diluvienne a donc été excessivement longue; mais il est certain que, si l'on pouvait rendre aux Alpes ces masses de terrain de transport qui forment ces larges bandes des deux côtés de la chaîne, leur restituer les vastes alluvions du Rhin, du Rhône, de la Suisse entière, de l'Italie, et ceux que les torrents ont charriés dans la Méditerranée ou dans la mer du Nord, on arriverait à une bien grande élévation. Il y a donc à déduire dans les Alpes, de l'épaisseur des anciens glaciers, tout le terrain qui a été enlevé du sol depuis leur retrait, et il est des localités où certainement cet enlèvement est considérable. On sait très-bien, par exemple, que la vallée du Rhône ne contient pas de blocs erratiques réunis vers son thalweg. Ils ont sans doute été emportés par les eaux avec le terrain. On les retrouve en abondance dès qu'on s'élève vers les pentes.

Tout le sol qui sépare les Alpes du Jura devait être aussi plus élevé qu'aujourd'hui, et cette élévation,

abaissant la température, devait favoriser la formation des glaces. Ce sont autant de circonstances dont il faut tenir compte dans l'ancienne extension des glaciers, mais auxquelles cependant il ne faut pas attacher une très-grande importance; la cause principale de l'extension résidant surtout dans l'alimentation.

Ce ne sont pas seulement les Alpes qui ont perdu une partie de leur sol; les Pyrénées atteindraient une grande élévation si on pouvait leur rendre l'immense diluvium qui est répandu au pied de leurs deux versants. Il en serait de même des terrains aujourd'hui surbaissés de l'île Centrale primitive de la France, et de toutes les montagnes de l'Europe; peut-être même des groupes entiers ont-ils été lentement entraînés de cette manière.

Les petites chaînes à sommets quartzeux de l'Estramadure, si bien décrites par M. Leplay, doivent leur origine à l'érosion du sol environnant. Une cause puissante a corrodé les schistes en dénudant successivement les quartzites. « Les massifs de ces chaînes ne « sont donc, dit M. Leplay, que de faibles restes d'une « contrée montagneuse qui s'étendait autrefois sur tout « le pays, à la hauteur des plateaux qui forment maintenant la lisière septentrionale de la Sierra-Morena, « semblables à ces buttes de terre que l'art de l'ingénieur conserve dans certains travaux de terrassement : « leurs massifs sont encore aujourd'hui les témoins du

« vaste déblai qui a nivelé le plateau central de l'Es-
« tramadure. »[1]

M. Omalius d'Halloy a reconnu exactement la même structure dans le relief du Hundsrück.

Mais, de toutes les parties de l'Europe, celle qui a dû subir le plus grand abaissement par l'érosion, c'est la grande chaîne des Alpes scandinaves, émergée depuis si longtemps et placée sous une latitude où elle a dû éprouver au plus haut degré la puissance de toutes les causes atmosphériques. Si on pouvait recueillir ses débris disséminés sur une partie de l'Europe, souvent éloignés de plus de 1200 kilomètres de leur point de départ, et les replacer sur les cimes qui les ont abandonnés, on arriverait certainement à une prodigieuse hauteur et à une énorme masse actuellement usée par les eaux.

La quantité des matières entraînées des régions polaires dans la direction de l'équateur, est réellement immense; et quand on pense aux masses énormes qui ont été charriées sur les pays environnant les pôles, et jusqu'à une grande distance, on est forcé d'admettre qu'il y avait dans ces lieux des élévations bien plus grandes que celles qui existent actuellement et qui ont été ainsi nivelés. A plus forte raison le nivellement devait-il avoir lieu, quand les forces qui le déterminaient étaient plus actives. Ces immenses champs de

1 Bulletin de la Société géolog. de France; tome VI, p. 255.

glace qui débouchaient alors dans les mers polaires, entraînaient des quantités de matériaux qui, à mesure que les glaces fondaient, se déposaient confusément dans le fond des mers ou qui étaient quelquefois triés par des courants.

Pendant l'intéressant voyage que fit M. E. Robert dans le nord de l'Europe en 1837 et 1838, il a cru reconnaître que l'île de Jomfruland, située dans le golfe de Christiana, représentait exactement par sa forme et sa composition; aussi bien que par sa direction N. S., un de ces *ases* (oses) ou *sundæsar*, collines de cailloux roulés, si fréquentes en Suède, et il ajoutait que cette île continuait à s'étendre, évidemment sous la seule influence des courants sous-marins, qui sont d'une force extraordinaire sur les côtes de la Norwège.

Non-seulement M. Robert considère cette île comme un vaste atterrissement, mais il étend cette opinion à la Séelande, à la Fionie, au Jutland, au Holstein et même au Hanovre, bien au delà de la rive gauche de l'Elbe.

Il a reconnu que toutes ces contrées sont composées de dépôts de sables argileux, dans lesquels se trouvent, comme en suspension, de gros blocs usés et roulés de roches primitives; éléments qu'il regarde comme provenant de la destruction des montagnes scandinaves. Il assimile ces grandes îles du Danemarck à ces dépôts fluviatiles qui forment des angles saillants dans les anses des fleuves, et, regardant ces vastes dé-

pôts comme étant encore en voie de formation et de soulèvement séculaire, il émet cette idée hardie mais vraisemblable : « que l'entrée de la Baltique ou le Sund « s'oblitérant de jour en jour, il arrivera un moment « où cette mer ressemblera au grand lac qu'on appelle « la mer Caspienne. »

Les formes moutonnées, les contours arrondis et usés que présentent les rochers dans toute cette contrée, accusent, suivant le même géologue, « une action « ancienne, lente et prolongée de la mer », dont il a trouvé plusieurs fois des traces irrécusables : des galets marins, placés sur des hauteurs de 100 mètres au-dessus du niveau de la mer, dans l'île de Lexen, ne lui laissent aucun doute à cet égard.

Ainsi, voilà d'immenses débris dont il faut, par la pensée, surcharger les Alpes scandinaves. Voilà des actions puissantes bien plus grandes que toutes celles que nous pouvons concevoir à l'époque actuelle, mais des actions semblables, analogues, beaucoup plus développées, qui s'expliquent toutes avec la plus grande simplicité, en considérant comme très-moderne l'émersion d'une grande partie du nord de l'Europe, et en donnant aux phénomènes glaciaires et diluviens combinés, la part qui leur reviendrait dans l'hypothèse d'un ancien accroissement de chaleur solaire.

Des neiges et des glaces abondantes sur les Alpes scandinaves dans la saison d'hiver, une fusion rapide et tumultueuse en été : de là des torrents, des débris

entraînés et des blocs flottants, puisque la mer baignait alors la base des montagnes.

Nécessairement, ces torrents glacés, qui descendaient dans la mer en été, pendant les longues journées du nord, devaient avoir une température bien différente de celle des eaux marines, et devaient y établir des courants qui ont contribué très-certainement au relief que présente aujourd'hui l'Europe émergée.

CHAPITRE XVIII.

DES BARRAGES PRODUITS PAR LES GLACES ET PAR LES EAUX.

Nous trouvons dans les barrages des vallées, par des glaciers, ou même par de simples cours d'eau, les causes de l'élévation partielle de plusieurs parties du terrain de transport. On conçoit en effet que, dans ces circonstances, le phénomène alluvien ait pu acquérir une assez grande intensité, quoique le courant soit assez faible.

Lorsque, par exemple, dans une vallée mieux exposée qu'une autre, le dégel et la crue subite des eaux entraînaient les matériaux et les débris de cette vallée, un barrage formé par ces débris pouvait s'établir dans une vallée voisine dont le torrent éprouvait du retard par suite de l'exposition du cirque; et quand la fonte des neiges et des glaces accumulées permettait ensuite à l'eau de s'écouler, elle rencontrait un obstacle créé par un affluent; l'eau s'accumulait, puis son poids augmentait toujours; elle brisait sa digue et dispersait au loin des matériaux que, sans cette circonstance, elle n'aurait pu charrier.

On ne peut refuser à l'action de l'eau la formation des terrasses que l'on observe dans toutes les vallées dont le fond est occupé par des rivières, et surtout dans celles qui contiennent encore de grands cours d'eau.

On peut, il est vrai, expliquer le relèvement des terrasses par un soulèvement lent du sol qui les porte ici à un niveau supérieur; mais il nous semble que, si l'on admet ce soulèvement, les rivières qui ont dû former les terrasses ont été soulevées en même temps, et la position relative des eaux et des dépôts, qu'on leur attribue à une époque antérieure, reste nécessairement la même.

Une partie de ces amas très-élevés des terrains alluviens résultent de dépôts successifs faits par de grands cours d'eau à une époque où le fond de la vallée n'était pas encore creusé : à chaque crue annuelle le torrent déposait une bande de détritus et de cailloux roulés; l'année suivante il plaçait une seconde bande à côté de la première, et de cette manière de grands espaces peuvent avoir été recouverts d'alluvions pendant de longues séries de siècles.

Le cours d'eau a évidemment changé de lit tous les ans, ou au moins à des époques très-rapprochées; enfin un nouveau lit s'est creusé, en profondeur surtout, au milieu des cailloux antérieurement amoncelés, à tel point, que maintenant il est quelquefois très-difficile, dans le lit des cours d'eau, de reconnaître

les galets qui sont en voie de formation, de ceux que la rivière a exhumés en creusant son lit dans une ancienne alluvion.

Une cause encore qui n'a pas été suffisamment appréciée dans l'étude des anciennes alluvions, c'est celle des barrages mobiles qui ont dû élever momentanément les eaux à une grande hauteur. On sait qu'au point de jonction de deux rivières, de deux ruisseaux, de deux courants sous-marins, enfin de deux cours d'eau quelconque, il y a ordinairement deux forces qui agissent avec des intensités différentes, deux chocs d'autant plus forts, que les cours d'eau arrivent se joindre sous un angle plus obtus. Une partie de la vitesse de chacun d'eux est souvent neutralisée, et un dépôt s'effectue presque toujours au confluent; c'est un véritable delta. Si l'on admet des eaux à crues périodiques bien caractérisées, comme le sont encore de nos jours, par des causes différentes, celles des fleuves des tropiques et des zones glaciales lors des pluies périodiques et des débacles annuelles des glaces, l'eau, en diminuant, façonne son delta ou son osar et lui donne des formes analogues et faciles à reconnaître.

Le dépôt d'un delta au confluent de deux cours d'eau élève sensiblement la surface des courants; mais ce qui influe bien davantage sur l'élévation du liquide dans les deux bassins, c'est le choc des deux rivières, c'est le barrage qui est produit par la masse d'eau

qui arrive sur une autre et les fait refluer toutes deux en amont du choc.

Or, si l'on considère que dans la théorie que nous proposons, mais qui n'a rien d'exclusif, les eaux devaient démésurément grossir à l'époque des pluies qui, dans les hautes latitudes, correspondaient très-probablement à la fonte des neiges, on remarquera que ces barrages mobiles produits par deux cours d'eau affluents ont dû être extrêmement communs et avoir une grande action pour créer, en quelque sorte, des lacs momentanés dans des lieux où en temps ordinaire, les rivières roulaient très-paisiblement leurs eaux dans un thalweg étroit et circonscrit.

La possibilité des lacs temporaires est la condition qui explique le mieux les étages des vallées; étages admis par tous les géologues, et sur lesquels M. Boubée, et ensuite M. Martins, ont depuis longtemps appelé l'attention des géologues.

C'est peut-être à une action de ce genre qu'il faut attribuer les grands dépôts de blocs qui indiquent aujourd'hui le confluent de l'ancien Rhône et de l'ancienne Isère.

« Le bassin erratique du Rhône, dit M. Guyot, est « de beaucoup le plus considérable; il couvre la plaine « entière jusqu'au mont de Sion; puis vient, au second « rang, celui de l'Isère; et enfin le bassin de l'Arve « qui, resserré entre les deux premiers, ne joue qu'un « rôle secondaire. Ceux du Rhône et de l'Arve se ter-

« minent brusquement au contact du bassin de l'Isère, « qui est marqué par une réunion de très-gros blocs, « tandis qu'ils sont dispersés dans le reste du bassin.[1] »

Une autre cause peut aussi avoir contribué pour une faible part à la formation des terrasses, c'est la circonstance où des glaciers s'étendant à une certaine distance dans des vallées qui en sont aujourd'hui privées, auraient comblé ces vallées à l'époque vernale de la fonte des neiges et des pluies torrentielles. Il est certain alors que, même dans la supposition où ces glaciers auraient été fondus par les cours d'eau, ils auraient dû au moins en être recouverts pendant un certain temps, et qu'alors, occupant un espace aujourd'hui vide, mais alors rempli par un corps solide, ils auraient forcé le liquide, qui descendait de tous les points environnants, à couler à leur surface, à s'étendre sur une grande largeur et à déposer sur les bords en couches plus ou moins horizontales, les débris entraînés de tous les points supérieurs.

D'après M. Boubée, les matériaux qui composent ces terrasses, seraient de grosseurs différentes et rangés de telle manière, que les plus gros formeraient les terrasses supérieures, et les plus fins le fond de la vallée; disposition qui fait penser à M. Boubée que ces divers gradins représentent les lits successifs d'un

1 Guyot, Dispersion du terrain erratique entre les Alpes et le Jura. Bibl. univ., nouv. série, 9.e année, mars 1844, p. 173.

grand cours d'eau dont le volume et la rapidité ont diminué successivement, et qui, dans chacune de ses périodes, a charrié des débris en rapport avec sa masse et sa vitesse.

Nous pensons que la majeure partie des terrasses sont antérieures aux glaciers, et datent de cette période géologique placée entre les terrains tertiaires et l'époque erratique, période pendant laquelle les neiges, accumulées en hiver, fondaient à peu près complétement en été.

Les barrages sont dans tous les cas des causes qu'il ne faut pas négliger dans l'étude de l'ancienne extension des glaciers et de leurs effets. Nous terminerons par une observation qui prouve qu'ils agissent encore de la même manière à l'époque actuelle et qui confirme notre théorie de la nécessité de la chaleur et de l'alimentation, pour expliquer des faits insoutenables avec un prétendu abaissement de température.

M. Haid de Fend a publié des observations très-curieuses sur la marche de quelques glaciers du Tyrol, et M. Weymann en a communiqué l'analyse à la Société géologique, dans sa séance du 18 novembre 1844.[1]

Il résulte de ces observations que deux glaciers, ceux de Rofenthal et de Vernagt, dans le Tyrol sep-

1 Bulletin de la Société géologique de France; nouv. série, tome II, page 81.

tentrional, alimentés par de hautes cimes et une vaste étendue montagneuse, ont depuis quelque temps progressé d'une manière effrayante.

Lorsque le glacier de Vernagt descend par son sillon et atteint le fond du Rofenthal, il oppose une digue de glace aux eaux des glaciers du Hochjoch et de Buflar, et il se forme un lac derrière cet obstacle. Ce lac, qui s'est formé plusieurs fois, a fait de grands ravages dans les vallées d'Œtz et de l'Inn, lors de la rupture de sa digue.

Depuis 1822, époque où le glacier de Vernagt touchait déjà la rive du torrent de Rofenthal, son extrémité inférieure s'était peu à peu retirée d'une lieue; mais en 1840 on remarqua que le glacier du Rofenthal, séparé encore de celui de Vernagt, indiquait par des fentes son accroissement progressif. En 1842, celui de Rofenthal se réunit à celui de Vernagt.

Le 10 avril 1844, après une neige abondante, tombée huit jours auparavant, le glacier de Vernagt avança avec une telle vitesse, qu'en huit jours il était descendu d'environ 4 mètres.

Par une conséquence naturelle de leur exposition au midi, les deux glaciers dont nous parlons étaient déjà sans neige au mois de mai. Dans la première moitié de juin leur extrémité inférieure s'avançait journellement de 2 pieds viennois; mais du 15 juin au 21 août, c'est-à-dire en 67 jours elle descendit de 200 pieds. En même temps les deux glaciers aug-

mentaient de puissance et s'étendaient en largeur, en sorte qu'à la fin d'août la glace avait déjà atteint et sur quelques points même dépassé les moraines les plus éloignées, qu'elle eut refoulées jadis et qu'elle avait depuis abandonnées.

Le 2 septembre l'extrémité inférieure des glaciers réunis de Rofenthal et de Vernagt n'était plus qu'à une demi-lieue de la place où une digue de glace a changé plusieurs fois la vallée du Rofenthal en un lac.

Plus le glacier de Vernagt approche du débouché de son vallon, plus son mouvement descendant est considérable; les gens âgés se rappellent même qu'une fois, dans le bas de la vallée, ce glacier avait franchi en 15 jours la distance d'une portée de carabine, et qu'arrivé à l'étranglement de la vallée de Rofenthal, il l'avait barrée en un jour.

Ces curieuses observations nous démontrent bien clairement que ce ne peut être le froid qui est la cause de l'extension des glaciers, car ceux-ci marchent avec une extrême rapidité au mois d'avril, après une chute abondante de neige; puis en juin, juillet, août et septembre, qui sont les mois les plus chauds de l'année. Ils sont de plus exposés au midi, et cependant les voilà sujets à des oscillations qui, depuis les temps historiques, ont atteint environ 4 kilomètres. Il faut donc que la chaleur ait de l'action sur la marche des glaciers, et en effet elle agit toujours en transformant en glace le nevé accumulé dans les lieux élevés et en

favorisant son transport dans les régions inférieures.

L'extension des glaciers à l'époque erratique n'est donc absolument qu'une question d'alimentation.

Si de nos jours encore les oscillations d'un glacier peuvent être telles que celles rapportées par M. Haid de Fend, quels mouvements puissants ont dû avoir autrefois des fleuves glacés, dix fois, vingt fois peut-être plus grands que ceux d'aujourd'hui? Dans combien de circonstances n'ont-ils pas dû, en se devançant plus ou moins, selon les localités, produire de ces énormes barrages qui créaient ainsi des lacs artificiels et momentanés, dont les eaux s'élevaient beaucoup avant de rompre leurs digues et sur le bord desquels des blocs flottés pouvaient se déposer à de grandes hauteurs?

La permanence, pendant quelques mois du moins, d'un lac avec une digue de glace, comme celui de la vallée de Rofenthal, nous démontre aussi que la glace reste bien longtemps sans se fondre, lorsqu'elle n'est en contact qu'avec l'eau de fusion des glaciers dont la température est très-basse, et nous pouvons, par cette seule considération, concevoir ces anciens lavages et ces transports de blocs par des courants momentanés, qui passaient par-dessus les glaciers et déposaient ainsi des terrasses alluviales à une hauteur telle, que nous ne pouvons plus comprendre aujourd'hui comment des courants ont pu les abandonner à une si énigmatique élévation.

Quant au fait par lui-même de la progression si moderne de deux glaciers à une époque où toutes les anciennes moraines nous indiquent des retraits, nous ne pouvons y voir que ces oscillations si nombreuses et à courtes périodes que l'on remarque dans toutes les opérations de la nature, où elle cache, sous de petites irrégularités apparentes, ses lois les plus immuables, que les siècles finissent par nous dévoiler. C'est le flot de l'Océan, qui, au bout de six heures, a abandonné le rivage, mais qui, pendant le reflux et pour l'observateur d'un instant, a semblé osciller tantôt vers les bords, tantôt vers son bassin et l'a laissé dans l'incertitude de l'état progressif ou rétrograde de ses eaux.

Tout semble annoncer du reste que ces barrages, que ces lacs dévastateurs, formés par les courants de glace, deviennent de moins en moins fréquents et éloignent de plus en plus leurs désastres.

CHAPITRE XIX.

DU TRANSPORT DES BLOCS ERRATIQUES PAR LES GLACES FLOTTANTES.

Nous avons admis l'ancienne extension des glaciers et nous avons reconnu, après avoir visité les vallées suisses, que la plupart des blocs erratiques que l'on y rencontre, appartiennent réellement au terrain de transport déposé par les glaciers eux-mêmes; en un mot, qu'ils ont fait partie de vastes moraines frontales ou latérales, ou qu'ils résultent des détritus éparpillés par le retrait des glaces.

Cette manière de voir ne s'accorde pas toujours avec la dispersion des blocs erratiques du nord, et nous croyons même qu'il existe peut-être dans la chaîne des Alpes du terrain erratique qui doit son origine aux glaces flottantes.

Il est en effet impossible que des glaciers très-étendus, qui éprouvaient chaque année des fontes périodiques très-considérables, n'aient pas abandonné souvent aux torrents qui résultaient de leur fusion des blocs enchassés dans la glace, et que les eaux pouvaient ensuite transporter très-loin. Il faut attribuer à ce mode de transport beaucoup de blocs

très-éloignés de leurs points d'origine et qui, dans certains cas, ont pu faire croire à une extension tout à fait exagérée des glaciers.

De ce nombre sont la plupart de ceux que l'on retrouve dans les vallées éloignées qui reçoivent encore les eaux des Alpes; les blocs erratiques qui existent sur le sommet du Mont-d'Or, près Lyon, et ceux que M. Virlet a indiqués à la partie supérieure des rochers de Crussol, situés sur la rive droite du Rhône, en face de Valence, y ont été, sans aucun doute, déposés par des glaces flottantes, à une époque où le lit des fleuves n'était pas aussi profondément creusé que de nos jours. Déjà à l'époque tertiaire des blocs ont pu être charriés de cette manière.

Partout où un obstacle existait, les blocs erratiques sont devenus plus nombreux; mais lorsqu'une vallée était rétrécie ou présentait un barrage, les radeaux de glace arrêtés y séjournaient et laissaient lentement descendre dans les environs des blocs dont les flotteurs fondaient continuellement.

Parmi les blocs de Salève, il y en a peut-être quelques-uns qui ont cette origine. En admettant qu'à cette époque le lit de l'Arve n'était pas encore creusé aussi profondément, et que le torrent qui descendait des glaciers du Mont-Blanc avait une énorme puissance, on se figurera facilement combien de radeaux de glace chargés de rochers, devaient échouer sur les flancs du Salève, et comment il se fait que le lit de l'Arve bais-

sant, et la masse de glace qui l'alimentait diminuant, les blocs se soient échoués successivement plus bas et en diminuant de volume, puisque les causes alors agissantes devenaient de moins en moins puissantes.

Le dépôt des blocs du Jura, attribué par M. de Charpentier à un énorme glacier, peut aussi avoir été compliqué du phénomène des glaces flottantes qui, poussées par les courants dans la direction des vallées, les charriaient sur le grand lac suisse, en face de ces mêmes vallées où ils venaient échouer. Un grand nombre, il est vrai, voguant sur des glaçons, descendaient avant d'avoir atteint la rive opposée à leur embarquement : aussi, le fond de la plaine suisse est couvert de ces mêmes blocs.

« Ces blocs, dit M. Thurmann, ne s'arrêtent nullement au pied méridional de la chaîne du Jura, mais « ils entrent dans ses vals inférieurs : ils occupent les « vals de Saint-Imier, de Ruz, de Travers, du Locle, de « Tavamas, de Bellelay, etc.; ils encombrent le fond « de certaines cluses, comme celle de Prinvilier ; ils « occupent des sommités et des plateaux, comme ceux « de la Maison blanche, dans la chaîne du Chasserol, « à une hauteur d'au moins 1400 mètres, quoiqu'ils « soient, il est vrai, de très-petites dimensions. Ainsi, « leur accumulation particulière au pied du Jura n'accuse qu'une limite particulière de dispersion contre « un obstacle en déçà et au delà duquel s'étend leur « dissémination. Ces faits, quoique connus depuis

« Deluc, n'ont peut-être pas toujours été suffisamment « pris en considération. »[1]

L'ancienne réunion des lacs de Morat, de Bienne et de Neufchâtel, formait aussi un immense bassin sur lequel ont pu flotter des radeaux qui ont apporté des blocs sur les pentes du Jura opposées aux Alpes; mais l'extension d'un immense glacier explique beaucoup mieux la position de ceux qui sont très-élevés, d'autant plus que les blocs erratiques les plus abondants sur le Jura, proviennent de la partie de la chaîne des Alpes où les glaciers exercent encore aujourd'hui une action énergique. »[2]

Il est dans tous les cas presque impossible d'expliquer la position de certains blocs erratiques, tels que les blocs perchés et beaucoup d'autres placés sur des plans très-inclinés, sans admettre, ou le transport direct par le glacier, ou le flottage sur une eau peu agitée. On ne peut attribuer à l'action des torrents la singulière position de ces masses de rochers.

D'ailleurs les torrents pouvaient aussi former des lacs momentanés, sur les bords desquels les glaçons chargés venaient échouer.

Il a dû arriver souvent dans les anciennes débacles que les glaces amoncelées près d'étroits passages ont

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. IX, p. 437.

2 Forbes, Annales de chimie et de physique; novembre 1842, page 283.

arrêté les eaux et les ont forcées de s'élever à un niveau bien supérieur à celui qu'elles atteignent ordinairement. De là d'immenses inondations, la rupture instantanée des digues, le transport des blocs par l'eau ou par la glace et la dispersion irrégulière des terrains diluviens. C'est ainsi qu'à une époque très-récente, en mars 1838, une vaste inondation a eu lieu de Gran jusqu'au-dessous de Pesth et a été occasionnée par la débacle des glaces. L'inondation à Pesth a duré trois jours, les 13, 14 et 15 mars; l'eau est montée à 10 mètres au-dessus de son niveau ordinaire, c'est-à-dire de $1^m,66$ à $2^m,30$ plus haut qu'en 1775.[1]

Combien de fois un semblable état de choses a-t-il dû avoir lieu dans les temps plus reculés, dans les profondes vallées des Alpes et plusieurs autres localités?

Les stries et les rayures que l'on remarque en différents passages étroits, dans des points où une large vallée se rétrécit, peuvent aussi en certaines circonstances être le résultat de glaces flottantes accumulées vers ces défilés et chargées de blocs et de débris. L'époque périodique du dégel devait en amener ainsi de très-grandes quantités, qui, pressées les unes contre les autres, pouvaient s'accumuler et exercer une assez forte pression pour produire des stries. Mais ces caractères

---

1 Boué, Bulletin de la Société géol. de France; t. IX, p. 253.

doivent plutôt être considérés, partout où ils se rencontrent, comme le signalement et la propre signature d'un glacier en voie de progression que comme le frottement exercé par des blocs ou du gravier enchassés sur des glaçons flottants.

C'est à des débacles qu'il faut rapporter presque tous les blocs erratiques du nord de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique.

Le capitaine Bayfield a vu souvent sur les lacs du Canada et sur le fleuve Saint-Laurent des blocs de rochers transportés par la glace. Le fleuve étant bas en hiver, des fragments de glace s'accumulent aisément sur les bas-fonds, dont les rives sont bordées et s'y prennent en masses solides. Les blocs nombreux qui recouvrent le lit et le bord, sont ainsi enveloppés par la glace, et quand les eaux s'élèvent par la fonte des neiges au printemps, les glaçons arrivent à la surface et sont flottés avec les blocs qu'ils transportent à de grandes distances. Ce fait est si bien connu dans le pays, qu'à l'approche du printemps on détache des glaces les ancres jetées au-dessus de la limite des hautes eaux, sans quoi on sait qu'elles seraient emportées. Le capitaine Bayfield a vu dans le détroit de Belle-Ile une haute montagne de glace, dans laquelle il reconnut une agglomération de blocs, de gravier, de galets enveloppés confusément. Beaucoup d'autres amas de glace devaient leur couleur sombre à la même cause. Il pense que quelques-unes

de ces îles immenses de glaces avaient été détachées de rivages très-éloignés, dans le nord, peut-être dans la baie de Baffin. Le courant nord porte en grand nombre de semblables glaces jusqu'à la côte de Labrador, et souvent elles franchissent le détroit et pénètrent à plusieurs centaines de milles au S. O. dans le golfe de Saint-Laurent.[1]

Le lieutenant de marine anglais Bowen cite en effet sur la côte du Labrador une étendue de 250 lieues de rivage, couverte de blocs erratiques charriés par des glaces.[2]

M. Murchison remarqua sur les bords occidentaux du lac Onega, trois rangées parallèles de blocs anguleux et volumineux d'un grès fort dur et s'élevant à diverses hauteurs, qui varient de 7 à 50 mètres au-dessus du niveau des eaux du lac.

On aurait pu y voir les moraines d'anciens glaciers, si le hasard n'en avait procuré une autre explication.

A 80 milles au sud d'Arkhangel il rencontra, sur les bords de la Dwina, une arête de gros blocs anguleux de calcaire blanc, empilés entre la route et la rivière à la hauteur de 7 à 10 mètres au-dessus du courant. Il s'assura que ce grand fleuve est sujet, au printemps, à des crues subites très-considérables,

1 Société géologique de Londres; 25 février.

1 Lyell, Principes de géologie. Traduction, tome II, p. 86.

pendant lesquelles il brise et rejette sur le rivage des blocs de glace à la hauteur de 7 à 10 mètres. Or les blocs calcaires, qui font partie des couches du sol dans lequel coule la Dwina, sont détachés par l'expansion de la glace qui se forme pendant l'hiver et soulevés en même temps qu'elle, lors des crues du printemps.[1]

Les courants marins, qui ont une si grande puissance et que l'on peut considérer comme d'immenses rivières qui cheminent sur l'Océan, au lieu de s'écouler sur les continents, transportent très-souvent des débris de rochers, surtout au moyen des glaces flottantes. Ainsi, M. F. Maury considère la création et l'extension actuelle du grand banc de Terre-Neuve comme due à sa position, qui est précisément le point où se rencontrent les deux grands courants de l'Atlantique, l'un venant du sud, l'autre arrivant du nord, et chargé de glaces flottantes, qui, rapidement détruites par les eaux tièdes du Gulf Stream, laissent déposer les matériaux qu'elles entraînaient avec elles.[2]

On sait que ces glaces voyagent très-loin et résistent longtemps à l'action de l'eau, qui finit par les fondre.

« Nous avons rapporté, dit M. Lyell, que plusieurs

---

1 Murchison, *Philos. Magaz.*

2 Remarques sur le Gulf Stream et les courants marins, par F. Maury : *Americ. journal of sciences;* juillet 1844. Bibl. univ., nouv. série, 10.e année, février 1845, page 333.



« îles de glace avaient voyagé depuis la baie de Baffin « jusqu'aux Açores, et depuis le pôle sud jusque vers « un point très-voisin du cap de Bonne-Espérance, « ce qui prouve que l'espace sur lequel peut se pro- « duire le phénomène du transport des glaces, com- « prend une grande partie du globe. »[1]

M. Couthony exprime la même opinion : « Les « glaces flottantes doivent répandre les blocs qu'elles « transportent sur une vaste étendue, non-seulement « du nord au sud, mais encore de l'est à l'ouest. Le « temps considérable pendant lequel les glaces flot- « tantes peuvent séjourner dans les flots d'une tem- « pérature aussi élevée, ne peut surprendre, lorsqu'on « se rappelle les dimensions énormes qu'elles ont sou- « vent présentés aux navigateurs, et qu'on tient compte « de la diminution considérable de chaleur que leur « fusion occasionne tout autour d'elles, soit dans « l'atmosphère, soit dans la mer, ce qui rend leur « destruction bien plus longue que l'on ne pourrait « l'imaginer.

« Ces dépôts doivent se faire sur d'immenses espaces, « puisque les masses des glaces flottantes se rencon- « trent fréquemment jusque vers le 35° parallèle sud, « et que les vaisseaux qui vont à la Chine en trouvent « quelquefois de très-grosses dans le voisinage du cap « de Bonne-Espérance, c'est-à-dire à plus de 1800

1 Lyell, Principes de géologie; t. II, chap. 3, p. 81. Trad.

« milles de la terre la plus voisine au sud. Il est donc « évident que les glaces flottantes peuvent donner une « explication satisfaisante de la manière dont s'est fait « dans les temps géologiques le transport des roches « qui constituent des blocs erratiques dans les deux « hémisphères. La direction générale des pôles à l'équa- « teur que présentent les blocs, n'est point en con- « tradiction avec cette hypothèse : elle en serait au « contraire une confirmation. »[1]

Si nous n'avons admis que pour une faible part le transport des blocs erratiques de la Suisse par les glaces flottantes, nous n'aurons pas la même réserve pour ceux de la Suède, de la Russie et du nord de l'Europe. Nous croyons que dans ces contrées le dépôt erratique est principalement dû à cette cause, qui n'est qu'accessoire sur les versants des Alpes.

Monseigneur Rendu admet aussi pour les blocs du nord le transport par les glaces flottantes.[2]

C'est encore l'opinion de MM. Murchison, de Verneuil, Keyserling, Robert et de tous les géologues qui ont visité cette partie de notre continent.

M. Robert regarde les blocs erratiques de la Suède comme ayant été transportés par les glaces à une

---

1 Sur les glaces flottantes, par M. Couthony : *Americ. journal of sciences*; juillet 1842.

2 Bulletin de la Société géologique de France ; nouvelle série, tome I, page 636.

époque où l'Océan couvrait presque tout le nord de l'Europe, et où toute la Scandinavie ne formait qu'un archipel.

« D'après la position de la plupart de ces grands « blocs erratiques à peine roulés, dit M. Robert, je « ne puis m'empêcher de renouveler une opinion que « j'ai déjà émise à l'égard de ceux de la Scandinavie : « c'est qu'ils me paraissent tous avoir été transportés « par des glaces, qui, après les avoir arrachés aux « dernières ramifications des Alpes scandinaves, dans « les gouvernements d'Olonetz et d'Arkhangel, les au- « raient déposés et laissés échouer sur les pentes et « les crêtes sablonneuses ou calcaires des collines où « nous les observons aujourd'hui, et cela à une époque « où la mer occupait une grande partie de la Russie « et laissait flotter des champs de glace, comme on « le voit encore autour de la Nouvelle-Zemble. »[1]

La débacle de la Dwina confirma encore M. Robert dans cette opinion.

A la sortie du lac Ladoga, sur la rive gauche de la Newa, M. Robert a trouvé un très-grand nombre de blocs, qu'il suppose aussi accumulés par les glaces.

Considéré dans son ensemble, le sol de transport de la Russie septentrionale ne paraît pas s'être déposé confusément.[2]

1 Bulletin de la Société géolog. de France; t. XI, p. 331.

2 *Idem, ibidem*, page 315 : Observations générales faites en Russie pendant l'année 1839.

Les découvertes récentes de MM. de Verneuil, Murchison et Keyserling, qui ont trouvé en Russie, dans des dépôts que l'on considérait comme tertiaires, des coquilles colorées et identiques à celles qui habitent encore aujourd'hui les mers du nord, prouvent bien clairement qu'à une époque toute moderne la totalité du vaste plateau de la Russie a été pendant un temps considérable sous une mer dont la chaîne de l'Oural formait la limite orientale.

La dispersion des blocs erratiques et le transport d'une partie du terrain diluvien par les glaces flottantes, acquiert alors un grand degré de probabilité, si l'on admet surtout que les glaces polaires et celles de la Scandinavie, avaient alors une plus grande puissance qu'aujourd'hui, et que chaque été un peu plus chaud en facilitait la fonte et en détachait d'énormes masses qui flottaient sur cet océan.

Les mêmes auteurs ont reconnu que les amas de terrain meuble de la Russie sont tous dérivés du nord; la rivière Oca, qui coule au sud de Moscou, paraît à peu près leur limite méridionale. A ce point extrême et déjà même à Moscou les granits sont rares et la plupart des blocs sont des diorites et des quartzites, qu'ils ont vus en place sur les bords du lac Onega et que M. Bœhtlingk dit exister aussi dans la Laponie russe. Ces blocs nombreux dans le lit des rivières y sont remués chaque hiver par les glaces et déposés par elles au niveau qu'atteignent les eaux à l'époque

des débacles; on les voit alignés ainsi à 5 ou 6 mètres au-dessus du niveau d'été des eaux.[1]

Nous pensons que ces différents faits ne laissent aucun doute sur l'action des glaces flottantes dans le transport et la dispersion du terrain erratique. Ils indiquent une longue période et le concours de circonstances plus actives que celles qui accompagnent maintenant la production du phénomène erratique.

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XII, p. 64.

CHAPITRE XX.

DES LACS DES MONTAGNES.

Un des phénomènes les plus curieux de presque tous les pays de montagnes est la présence des lacs profonds, ordinairement placés et souvent alignés au pied de la chaîne à la base de ses deux versants. C'est ce que l'on remarque surtout dans les Alpes, où tout ce qui tient à la composition des montagnes a été exécuté sur une très-grande échelle et avec des traits bien caractérisés.

Si l'on jette les yeux sur une carte de la Suisse, ou mieux, sur un relief de cette contrée, on aperçoit de suite cette disposition des lacs; mais on remarque, en même temps, qu'ils semblent n'être des deux côtés de la chaîne que les restes de vastes bassins qui auraient été autrefois remplis d'eau, et dont les points les moins exposés au comblement auraient été préservés.

Cette première idée disparaît devant un examen sérieux, ou du moins il est difficile de la conserver en retrouvant tout autour des lacs, et surtout dans les vallées où ils versent leurs eaux, une énorme accumulation de terrain diluvien qui aurait dû les combler,

puisque l'origine de ce terrain de transport se trouve en amont des bassins. C'est ce que M. de la Bèche a très-bien reconnu pour les lacs d'Italie.

« Les cailloux alpins de quelques-unes des rivières « de l'Italie septentrionale ne peuvent avoir été amenés « par les rivières actuelles dans les plaines de Lombar- « die, puisque le lac Majeur, le lac de Como et autres, « arrêtent nécessairement les cailloux entraînés aujour- « d'hui des hautes sommités des Alpes par les torrents « qui alimentent ces lacs. »[1]

Mais il y a encore une observation extrêmement remarquable sur ces lacs, c'est leur immense profondeur, qui place leur fond au-dessous du niveau de l'Océan, malgré l'élévation des plaines ou des vallées où ils se trouvent situés. Saussure a mis ce fait hors de doute par de nombreux sondages.

Ce n'est pas seulement en Suisse que les lacs sont profonds : cette énorme profondeur se retrouve dans tous les lieux où existent des chaînes de montagnes. Ainsi, en dehors des montagnes rocheuses dans l'Amérique du nord, mais très-près de leur pied, M. Richardson a observé une série de lacs dont plusieurs sont « tellement profonds que leur fond est certaine- « ment fort au-dessous du niveau général des mers. »[2]

Le lac supérieur de l'Amérique du nord a dans sa

---

1 De la Bèche, L'art d'observer en géologie ; page 33.

2 Revue Britannique ; 4.e année, décembre 1828, page 189.

plus grande profondeur, selon le capitaine Bayfield, 366 mètres, ce qui placerait son fond à 183 mètres au-dessous du niveau de l'océan Atlantique.

L'Altaï oriental offre souvent des lacs profonds à bords abrupts; phénomène qui, selon M. Tchiattcheff, semble se rattacher au croisement des axes de soulèvement. Le lac de Karakol rappellerait tout à fait le lac Pavin de l'Auvergne.[1]

Ces caractères semblent indiquer des relations entre la formation de ces lacs et le soulèvement des chaînes de montagnes, et ceux de la Suisse représentent probablement pour les Alpes ce que les cratères-lacs de l'Auvergne, de l'Eifel et de plusieurs autres contrées, indiquent pour leurs localités respectives. D'énormes dégagements de matières gazeuses auront laissé de profondes cavités, dont la plupart auront été comblées, et dont quelques-unes peuvent avoir été préservées par des causes très-difficiles à expliquer.

Pour les lacs suisses, l'élévation de la dernière chaîne des Alpes peut être la cause de leur creusement, et ils doivent avoir, dans tous les cas, une origine assez moderne; mais ils sont évidemment antérieurs à l'époque erratique et peut-être même à une partie de la période diluvienne.

1 Rapport sur un mémoire de M. P. Tchiattcheff, relatif à la constitution géologique de l'Altaï. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XX, page 1410.



Ces lacs paraissent avoir éprouvé quelques modifications par les rivières transversales, au confluent desquelles ils semblent situés.

Ainsi l'Arve vient déboucher à l'aval du lac de Genève; les lacs de Thoun et de Brientz ont été partagés par les terres d'Interlaken, qui ne sont qu'un dépôt descendu de la grande vallée du Grindelwald et de la Jungfrau ou Lauterbrunn, et qui a été apporté par la rivière Lattchinen.

Presque tous les lacs suisses ont aussi leurs barrages plus ou moins marqués; mais il est impossible de leur attribuer la formation de ces lacs.

Cependant M. Martins n'hésite pas à considérer la plupart des lacs de la Haute-Italie comme devant leur existence aux moraines frontales des grands glaciers qui descendaient du revers méridional des Alpes. « En barrant le cours des fleuves, elles les ont forcés « à s'étendre sous forme de nappes liquides. Parmi les « moraines les plus évidentes, je citerai, dit M. Martins, « les trois arcs concentriques qui circonscrivent l'ex- « trémité du lac Majeur, près de Sesto Calende; celles « du lac de Garde ne sont pas moins bien caractérisés « aux environs de Desenzano et de Peschiera. »[1]

Il y a eu évidemment des lacs plats, dont le fond a été comblé, mais il reste toujours à expliquer comment les lacs profonds ont été préservés de l'alluvion.

---

1 Ch. Martins, Revue des Deux-Mondes; tome XVII, p. 941.

La théorie des glaces est peut-être celle qui explique le mieux les faits, et il est difficile de ne pas l'adopter si l'on admet l'ancienne extension des glaciers.

D'après M. Leblanc, « les lacs des hautes montagnes « sont toujours placés de manière à avoir à l'amont « un point fort élevé comparé aux points voisins.

« Les roches à l'amont du lac sont polies, couvertes « de *Carrenfelder,* si elles sont dures, et résistent bien « à la décomposition atmosphérique.

« Les surfaces polies sont accompagnées de galets « glaciaires.

« Le lac, à l'aval, est terminé par plusieurs amas « transversaux de débris gros et petits, par de véritables moraines. Ces débris, fort considérables, « viennent de la montagne de l'amont et ont passé « par-dessus le lac sans le combler.

« Le lac, quelquefois, est entouré de cailloux roulés « sur un ou plusieurs côtés, et n'en contient pas lui-« même. L'obstacle qui s'est opposé au comblement « est contemporain du diluvium. Les lacs des mon-« tagnes sont d'autant plus nombreux que la latitude « du pays est plus élevée.

« Tous ces phénomènes s'expliquent sans difficulté, « en admettant sur la terre une époque un peu plus « froide et beaucoup plus humide que celle où nous « vivons : c'est l'hypothèse de M. de Charpentier. »

M. Leblanc donne ensuite des détails très-intéressants sur la vallée de Saalach, sur l'élévation des

terrasses de cailloux roulés bien au-dessus du niveau du lac, et conclut par appliquer à cette vallée la théorie de l'extension des glaciers. Il cite cette observation comme un exemple, mais qui doit s'adapter, à quelques modifications près, aux autres vallées des Alpes.

« Dans la théorie des glaciers, tous ces faits, en « apparence si étranges, se coordonnent et s'expliquent « avec la plus grande facilité. Un des points les plus « élevés de la chaîne étant en face du Zellersée, un « glacier plus grand que les voisins a dû en provenir « et remplir la vallée de Saalach jusqu'à la moraine « que nous avons décrite au sud de Saalfelden, quand « l'époque de la fonte des glaces est arrivée.

« Tous les glaciers des petites vallées qui déversent « leurs eaux dans la Salza, à l'amont du lac de Zellersée, « vallées qui correspondent à des parties plus basses « de la chaîne centrale, jusqu'au Venedigerhorn, ont « fondu et ont fourni des eaux abondantes, qui ont « coupé le glacier principal; une montagne de glace « est restée isolée dans l'emplacement du lac, a em- « pêché les eaux et les cailloux de s'y déverser, de le « combler, et les a forcés de passer par la vallée de la « Salza. Ce transport de cailloux devait être à peu près « terminé quand enfin la montagne de glace a fondu « et a laissé à sa place le lac, appuyé à l'amont des « cailloux roulés, comme nous le voyons aujourd'hui. »[1]

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XIV, p. 600.

M. Leblanc considère ensuite le grand nombre de lacs du nord de l'Europe et la position relative des collines de ces contrées comme analogues aux relations qui existent entre les lacs et les montagnes des Alpes.

Ces idées de remplissage des lacs par des glaciers qui les rencontraient sur leur chemin paraissent au premier abord extrêmement hardies; mais cependant, quand on a vu la position de ces lacs, et qu'on a remarqué l'abondance des terrains diluviens qui se rencontre en amont, en aval et tout autour d'eux; quand on en a vu de réellement dominés par des terrasses de cailloux roulés, on se demande comment il se fait que ces lacs n'aient pas été comblés par le transport de détritus à l'époque où ces immenses alluvions se déposaient sur une si grande échelle.

M. Charles Martins va plus loin encore; car il pense que les glaciers, en vertu de leur légèreté, ont pu traverser le golfe de Bothnie. « On conçoit, « dit-il, qu'une masse de glace traverse obliquement « une dépression; les glaciers de la Suisse nous en « offrent de nombreux exemples. Il faut se rappeler « ensuite que la pesanteur spécifique maximum de la « glace des glaciers est, d'après les expériences de « M. Dollfuss, à celle de l'eau pure dans le rapport « de 909 à 1000, rapport qui devient pour l'eau salée « celui de 883 à 1000. Cette glace surnage donc en « partie à l'eau, et il suffira qu'un glacier appuie ses

« bords sur le rivage pour pouvoir se soutenir au-« dessus d'une masse liquide. Ces conséquences se « vérifient dans la nature : le glacier d'Aletsch, en « Suisse, surplombe le lac Mœrill ; tous les glaciers « qui occupent le fond des baies du Spitzberg s'avancent « au-dessus de la mer, à une certaine distance, en « s'appuyant sur les côtés de la baie. Pour toutes ces « raisons il ne me paraît pas absurde de supposer, « en grandissant les proportions du phénomène, que « les glaciers traversaient autrefois le golfe de Bothnie, « comme ils ont probablement traversé les lacs de la « Suisse. Dans ce pays on peut démontrer, par la limite « altitudinale des anciennes moraines latérales laissées « par ces glaciers, que leur base ne reposait pas sur « le fond du lac, mais correspondait à peu près au « niveau actuel de la surface de l'eau. »[1]

Ou les lacs sont postérieurs à ces alluvions, ou bien une cause quelconque s'est opposée à ce qu'ils soient remplis.

On doit, du reste, distinguer dans ces grands lacs les bassins extrêmement profonds qui dépendent, à coup sûr, d'un grand phénomène géologique, de ceux qui, moins creusés et à fond plat, ne sont que des vallées dont le comblement s'est opéré en totalité, comme à Chamouni, au Bourget, et dans une foule

1 Martins, Réponse à Durocher. Bulletin de la Société géol. de France ; 2.e série, tome IV, page 102.

de localités, ou en partie remplies, comme cette énorme vallée à fond plat, dont les lacs de Neufchâtel, de Morat et de Bienne ne sont que de simples délaissements.

On ne peut guère admettre que les lacs profonds, comme ceux de Genève, de Thoun, etc., soient postérieurs à l'époque erratique; ils datent vraisemblablement du dernier soulèvement des Alpes, et c'est après cette dernière convulsion qu'il faut placer la dispersion du terrain erratique et peut-être d'une partie de l'alluvion ancienne. Ces lacs auraient donc dû être comblés, puisque bien au delà, en suivant leurs vallées, on trouve d'immenses accumulations de débris, qui auraient dû se déposer dans leur bassin et ne parvenir plus loin qu'après leur comblement; mais il n'en a pas été ainsi.

M. Leblanc les considère comme des portions du fond des vallées primitives, qui auraient été préservées du comblement par les glaciers; mais pourquoi les autres parties de la vallée, qui devaient être aussi profondes, n'ont-elles pas été protégées de la même manière? Il faut donc admettre que les lacs sont des phénomènes locaux, n'existant que sur un certain point de la vallée, et dépendant, très-probablement, des mouvements du sol et des dégagements de matières gazeuses aux époques du soulèvement des montagnes.

Quelle que soit l'opinion que l'on adopte sur leur

origine, la question de la conservation de leur bassin reste toujours la même.

Si d'énormes glaciers ont rempli les vallées, comme tout nous porte à le supposer, les lacs auront été préservés par ce moyen, et l'on conçoit, en effet, qu'à l'époque de leur fonte, des culots de glace aussi considérables que ceux de ces lacs, ont dû résister plus longtemps et faire obstacle au dépôt du terrain de transport.

Peut-être aussi le voisinage de ces grands dépôts de glace, la position de ces lacs au milieu d'amas considérables de neige, leur permettait-il de se congeler annuellement à leur surface pendant un certain temps, qui suffisait cependant pour que les eaux de la première fonte du glacier, réunies aux pluies du printemps, pussent passer par-dessus, en emportant tous leurs matériaux de transport.

Nous avons déjà signalé le grand abaissement local de température qui résulte de la présence de la neige ou de la glace. Cet abaissement est tel qu'à Saint-Pétersbourg, après la débâcle de la Newa et le retour du printemps, lorsque les campagnes commencent à verdir, on s'attend au retour de la gelée pendant quelques jours, et elle arrive, en effet, aussitôt que les glaces du lac Ladoga, qui ne se brisent que 10 à 15 jours après celles de la Newa, sont charriées par cette rivière. Cet état de choses ne s'étend pas à une grande distance; cependant, on sait qu'à une certaine

époque de l'année, il y a tout d'un coup un abaissement de température qui se fait sentir les 11, 12 et 13 mai, précisément, comme le fait observer M. de Humboldt[1], à l'époque où le mouvement de chaleur ascensionnel devrait être le plus marqué. Mœdler a confirmé cette croyance populaire des trois jours froids par des recherches sur 86 années d'observations météorologiques, faites à Berlin, et il a trouvé réellement un abaissement moyen de 1°,22.[2]

Cette époque ne coïncide-t-elle pas avec des mouvements de glace qui, à cette époque, par suite de grandes débâcles vers le nord, avanceraient vers le sud ou fondraient en plus grande abondance, et produiraient ainsi cet abaissement de température.

« Il serait à souhaiter, dit M. de Humboldt, que « ce curieux phénomène pût être étudié simultané- « ment sur des points très-éloignés, en Amérique, par « exemple, et dans l'hémisphère austral. »[3]

Ainsi, à une époque où la température générale, provenant du climat, était plus élevée sur la terre qu'elle ne l'est aujourd'hui, les points où se déposaient de grandes quantités de neige et où se formaient de vastes glaciers, étaient nécessairement beaucoup

1 Cosmos; traduct., page 475.

2 Union pour l'avancement de l'horticulture; 1834, p. 377.

3 Bulletin de l'Acad. impér. de Saint-Pétersbourg, 1843; t. I, n.° 4, et Cosmos, traduct., page 475.



plus froids qu'ils ne le sont de nos jours. Les vents du nord qui devaient souffler plus longtemps et plus tard à cause de la grande quantité de neige qui était accumulée vers la zone polaire, contribuaient aussi à un grand abaissement local de température, et il est probable que les lacs devaient, sinon être gelés jusqu'au fond, au moins être recouverts d'une nappe de glace très-épaisse. Le lac de Genève, la plus grande masse d'eau de la Suisse, peut encore se congeler de nos jours, et on a de nombreux exemples de froids contemporains assez vifs pour le couvrir de glace.

En 1570, le lac gela tellement qu'on le traversa sur la glace depuis le Vengeron jusqu'à Vézénas; en 1684, le lac fut gelé du 20 janvier au 7 février, et on le traversa le 1.er février de Cologny à Secheron. Le 5 janvier de l'année suivante, il gela encore depuis les Pâquis jusqu'aux Eaux-vives.

Le 26 janvier 1697, le Rhône fut entièrement gelé au-dessous des Ponts et jusqu'à la Pierre-du-Niton. On sait aussi qu'en 1709, il y eut un froid extraordinaire depuis le 6 janvier, que tous les moulins furent arrêtés pendant 4 jours, et que le Rhône gela ainsi que le lac des Eaux-vives aux Pâquis.[1]

Les froids extrêmes observés à Genève de 1768 à 1800, n'ont pas dépassé ceux observés plus tard, et sont loin d'atteindre celui de — 20° R. de janvier 1838.

---

1 Bibl. univ.; 8.e année, 2.e série, janvier 1843, page 128.

Le lac a été gelé près de Genève pendant 2 ou 3 jours en février 1782 et en mars 1785, et pendant 12 à 15 jours en janvier 1789. Les circonstances dans lesquelles ce phénomène a lieu, sont un temps froid prolongé, dont l'extrême ait au moins atteint — 10° R., et la présence du vent N. E., que nous appelons bise.[1]

Dans le siècle actuel, le lac a gelé à Genève le 22 février 1810, les 23 et 24 février 1814 et du 3 au 8 février 1830. Le lac n'a pas gelé dans les années 1802 et 1838, qui sont celles du plus grand abaissement du thermomètre; à cette dernière époque, les plus grands froids ont eu lieu par un petit vent du sud ou par un temps presque calme.[2]

Il peut donc se faire que les lacs suisses aient conservé leur profondeur par suite d'une couche de glace qui les aurait recouverts sur toute leur étendue, comme nous voyons encore aujourd'hui le lac du Mont-Cenis gelé jusqu'au mois de juin, et par-dessus lequel des alluvions pourraient traverser, s'il se trouvait dans des circonstances convenables pour en recevoir.

---

1 Bibl. univ.; 8.e année, 2.e série, janvier 1843, page 133.

2 *Idem, ibidem;* page 134.

CHAPITRE XXI.

DE L'ACTION QU'ONT PU EXERCER LES SOULÈVEMENTS DANS LA FORMATION DU TERRAIN DE TRANSPORT.

Après avoir accordé dans le transport des blocs erratiques et du terrain diluvien une part à l'eau, aux glaciers et aux glaces flottantes; après avoir apprécié les effets qui ont pu avoir pour principe le tassement ou la destruction des montagnes et le barrage des vallées, nous avons encore à étudier une cause puissante qui doit avoir eu une grande influence sur la position actuelle du terrain de transport, comme elle en a eu du reste sur tous les phénomènes géologiques : ce sont les soulèvements. Nous admettons leur action comme de simples accidents qui ont interrompu et modifié certaines périodes; mais nous ne pouvons leur accorder l'ensemble du phénomène de transport, que nous considérons toujours comme le résultat d'un climat solaire dont la température se serait successivement affaiblie.

La théorie des soulèvements est généralement adoptée, et les belles recherches de M. Élie de Beaumont, lui ont donné un tel caractère de précision, que l'étude, et l'on peut dire, la détermination exacte de

ce phénomène, est à la géologie ce que la grande triangulation est au levé de la carte topographique d'une contrée. Personne ne cherche plus à contester cette grande vérité, mais les géologues sont encore divisés sur les effets et les résultats de ces grandes perturbations.

Les uns, peu nombreux, veulent qu'une infinité de petites secousses aient pu produire jusqu'aux plus grandes chaînes de montagnes; d'autres croient à des mouvements presque instantanés qui auraient ridé tout à coup la surface de la terre, et qui auraient apporté le trouble dans toutes les actions établies, dans toutes les forces alors agissantes.

Cette dernière manière de voir paraît plus conforme à l'observation des faits, et l'on ne peut méconnaître que les grandes formations sédimenteuses ne soient souvent placées entre deux périodes de bouleversements. Mais ce caractère est-il toujours et partout tellement tranché que le commencement précis d'un terrain date de l'époque d'un soulèvement, et que sa fin ait été produite par un autre? que chaque terrain ou chaque grande formation composée sur toute la terre d'une multitude de dépôts ait toujours été compris entre deux événements de ce genre, sauf à reconnaître par la suite un plus grand nombre de dislocations que celles qui ont été indiquées, principalement en Europe, par M. de Beaumont? Nous ne le pensons pas; nous croyons que les terrains ont pu continuer

de se déposer avec les mêmes caractères à une certaine distance des lignes de soulèvement; que les êtres vivants, localement anéantis ou presque détruits, ont pu prolonger ailleurs leur existence, et que les soulèvements n'ont interrompu que localement le passage insensible et continu d'une formation à une autre.

Comme l'a très-bien indiqué M. Alph. Fabre, professeur de géologie à Genève, on doit distinguer deux genres de soulèvements : ceux qui sont lents, qui agissent encore à l'époque actuelle et auxquels il donne le nom de *soulèvements continentaux*, et ceux qui ont agi brusquement et ont soulevé les montagnes.[1]

Ce sont en effet deux ordres d'actions tout différentes qui ont été produites par ces deux sortes de soulèvements.

Pour les premiers, nous n'avons que des effets lents qui ont soulevé le sol et l'élèvent encore, et ont ainsi porté des terrains de transport à une élévation beaucoup plus grande que celle qui leur appartient réellement.

Voilà plus de trente ans que M. de Buch a annoncé que la surface entière de la Suède s'élevait lentement, et que le même mouvement s'étendait probablement jusqu'en Russie. Tous les géologues admettent aujourd'hui ces soulèvements, si différents de ceux des chaînes de montagnes.

---

1 Considérations géologiques sur le mont Salève.

M. de la Bèche les croit beaucoup plus généraux qu'on ne le suppose jusqu'ici, et il regarde ces mouvements graduels d'élévation ou de dépression de l'écorce solide du globe comme nécessaires à l'explication d'un grand nombre de phénomènes géologiques qui s'observent dans les terrains fossilifères de tous les âges.[1]

En effet, on a signalé partout l'élévation lente du sol ; c'est un phénomène général dans tout le nord de l'Europe, et peut-être cette partie du monde y participe-t-elle encore tout entière.

L'observation faite par M. Kemp[2], en Écosse, de terrasses bien nettement tracées sur les flancs de la colline de Galasshiels, séparées entre elles par une distance perpendiculaire d'environ 18 mètres, et dont la plus élevée atteint 266 mètres au-dessus du niveau actuel de la mer, prouverait en faveur de ceux qui admettent les soulèvements lents ou successifs.

M. J. Prestwich a signalé plusieurs plages soulevées de 3 à 4 mètres au-dessus des plus hautes marées sur la côte du comté de Banff, Écosse.[3]

M. Austin a publié, dans le *Philos. Magaz.* d'octobre 1841, des observations qui prouvent que le sol du ri-

---

1 L'art d'observer en géologie; page 115.

2 *Philos. Magaz.;* juillet 1843.

3 Procès-verbaux de la Société géologique de Londres, 5 avril 1837, et Bullet. de la Société géolog. de France; t. IX, p. 97.

vage, près du port de Waterford en Irlande, éprouve encore en ce moment, ou du moins a éprouvé, depuis les temps historiques, un soulèvement lent et presque insensible analogue à celui de la Suède.

En étendant ce fait à l'Écosse et à une partie de l'Angleterre, on expliquerait facilement la présence des blocs erratiques élevés déjà au-dessus des côtes.

La présence d'un banc dépassant de 100 mètres le niveau de la mer, dans le comté de Mayo, composé de sables avec coquilles, semblables à celles qui sont actuellement vivantes, et reposant sur les granits, a fait supposer à M. Griffith que ce soulèvement granitique pouvait aussi appartenir à l'époque actuelle.[1]

Les blocs erratiques, qui semblent avoir traversé la Baltique pour venir se placer sur les terres qui la bordent, ont flotté sur ses eaux, et ont ensuite été soulevés lentement par l'émersion du fond de la mer, qui a lieu encore aujourd'hui en Suède et dans le golfe de Bothnie : c'est la seule explication possible des faits observés, d'abord par M. Alexandre Brongniart et depuis par un grand nombre de naturalistes, dans la dispersion des blocs.

« Quand on suit ces blocs à travers la Scanie jus- « qu'en Séelande de l'autre côté du Sund, et qu'on « les y retrouve avec la même nature, le même aspect, « le même volume, de manière à ne pouvoir douter

---

1 *Athenæum*, 16 septembre 1843.

« que ceux-ci ne soient la suite de cette série ou traî-
« née de blocs, on éprouve un grand embarras pour
« leur faire traverser le détroit du Sund, qui, quoi-
« que peu large, l'est encore assez, et est surtout assez
« profond pour ne pas laisser concevoir comment de
« pareilles masses ont pu le franchir. »[1]

On a fait la remarque dans le port de Saint-Pétersbourg que dans les vingt dernières années les eaux y ont considérablement baissé. Cela peut servir de nouvelle preuve de la justesse des anciennes observations des riverains de la Baltique, que le fond de cette mer hausse continuellement, que le niveau et le volume des eaux diminuent, et que la terre ferme s'accroît de toute part. D'après les recherches des anciens naturalistes, des phénomènes de ce genre arrivent le plus souvent dans les contrées voisines du cercle polaire septentrional; on peut citer comme exemple les ports du Danemarck, qui ont baissé à tel point, que l'on manque d'eau dans quelques endroits. Il y a 2500 ans la Suède et la Norwège formaient une île. La ville de Pitea s'est trouvée en 45 ans éloignée de la mer à deux milles; Loutea en 28 ans, à un mille. L'ancienne ville de Lodisa se trouve actuellement à quatre milles de la mer, et Westerwick à deux. Lors de la fondation de Torneo, de

1 Alex. Brongniart, Sur les blocs et terrains de transport de la Suède. Annales des sciences natur.; tome XIV, page 18.

grands vaisseaux pouvaient arriver jusqu'à la ville même; maintenant elle se trouve située sur une presqu'île. Les îles Lugsoë, Aspoë et Testeroë sont déjà réunies depuis grand nombre d'années, et d'autres, comme Lonisoë, Psalmodi et Magdelone se sont réunies à la terre ferme, etc. C'est en se fondant sur ces faits et sur d'autres observations, que Linné et Cels ont conclu que la hauteur des eaux de la mer Baltique diminuait de 11 centimètres par siècle et que ce grand amas d'eau finirait par disparaître entièrement. Quoique des observations exactes faites dans des temps modernes ne confirment pas une diminution aussi rapide des eaux, elles s'accordent cependant avec l'opinion reçue généralement, que le fond de la mer dans l'hémisphère septentrional hausse en partie, sans toutefois que les eaux changent de niveau. Il est assez difficile de décider laquelle de ces deux opinions est la plus juste; mais il est incontestable que la terre ferme, baignée par les eaux de la mer Baltique, s'agrandit; que les fleuves et les lacs perdent de leur profondeur, que des bas-fonds se forment dans les ports de mer et que tôt ou tard les riverains de la Baltique seront obligés de creuser des canaux, peut-être même d'établir des routes à ornières de fer pour maintenir et vivifier le commerce sur cette mer.[1]

M. Bravais, à qui les sciences exactes sont rede-

1 Gazette du commerce de Saint-Pétersbourg; 28 mai.

vables de si beaux travaux, a constaté encore tout récemment le soulèvement moderne de la Scandinavie.

« La démonstration d'un pareil fait, dit le savant « rapporteur de son travail à l'Académie des sciences, « intéresse à un très-haut degré toutes les parties de « la physique terrestre, et particulièrement la géologie. « Pour cette science il est d'autant plus intéressant « qu'il est loin d'être isolé. Les géologues ne verront « ici en effet qu'un des nombreux exemples aujour- « d'hui connus, de l'émersion d'une vaste étendue de « terrain couverte de dépôts marins en couches peu « ou point disloquées.

« On voit les traces du séjour moderne des eaux « dans diverses contrées à des niveaux extrêmement « inégaux, savoir : dans l'*Altenfiord* jusqu'à 68 mètres; « dans le midi de la Norwège jusqu'à près de 200; « en Écosse jusqu'à 359 au moins; dans le pays de « Galles jusqu'à 424, et elles redescendent en Cor- « nouailles jusqu'à une faible hauteur.

« On acquiert aisément par là la conviction que « M. Bravais n'a observé qu'un terme d'une longue « série d'ondulations que fait la ligne de l'ancien ni- « veau de la mer, dans une longueur de 330 myria- « mètres depuis le Spitzberg jusqu'à la pointe méri- « dionale du Cornouailles.

« On demeure plus convaincu encore que la ligne « du niveau ancien a éprouvé, dans certains espaces,

« des ondulations ascendantes, lorsqu'on voit que dans « d'autres espaces contigus elle en a éprouvé de descendantes à une époque également très-récente. « Tandis que les côtes du Lancashire et du pays de « Galles nous offrent des fonds de mer à des hauteurs « considérables, les côtes opposées de l'Angleterre, « celles du Lincolnshire, nous présentent des forêts « sous-marines : ce sont des forêts composées d'arbres « identiques avec les nôtres, tels que chênes, bouleaux, « noisetiers ; puis, gisant en partie renversés, mais « avec leurs souches, leurs racines encore en place, « encore accompagnés de leurs feuilles, de leurs fruits « et des insectes qu'ils abritaient, sous un sol vaseux, « rempli de coquilles d'eau douce. Elles se trouvent « au-dessous du niveau de la mer, ce qui indique un « affaissement de plusieurs mètres.

« Ainsi, des contrées voisines ont été et sont encore « travaillées par des mouvements contraires : lorsqu'une « planche fait la bascule, l'une des deux extrémités « monte, lorsque l'autre descend. »[1]

Il ne peut donc rester aucun doute sur l'émersion récente d'une grande partie de l'Europe, et par conséquent sur la position actuelle d'un grand nombre de blocs erratiques, de terrasses d'alluvions, de collines détritiques, autrefois submergées et placées aujour-

---

1 Élie de Beaumont, Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences ; 7 et 14 novembre 1842.

d'hui à des niveaux très-supérieurs à celui de leur dépôt primitif. On peut même affirmer que les grandes différences qui semblent exister au premier abord entre le phénomène erratique des Alpes et celui du Nord, tient en grande partie aux mouvements contraires et plus ou moins prolongés que le sol de cette dernière partie de l'Europe a éprouvés. Si l'on fait attention que les oscillations de la presqu'île scandinave, qui se continuent de nos jours dans le sens de l'élévation, ont commencé et dans des directions diverses depuis les terrains tertiaires et peut-être plus tôt, on concevra la perturbation apparente, ou du moins les difficultés que ces mouvements ont occasionnés pour l'étude de ces contrées.

Des effets tout différents durent avoir lieu par l'action des soulèvements instantanés, depuis les simples secousses de tremblement de terre jusqu'à l'apparition subite des hautes chaînes de montagnes. Mais ici encore deux ordres de faits se présentèrent nécessairement : les uns mécaniques, résultant du déplacement des eaux, et les autres produits par les perturbations que d'aussi violentes convulsions devaient apporter dans le climat des lieux où le phénomène s'accomplissait.

Les tremblements de terre, quelquefois accompagnés du déplacement du sol, et qui semblent tenir le milieu entre les deux espèces de soulèvement dont nous avons parlé, ont pu déplacer des blocs, élever

des terrasses, les fracturer, et dans d'autres circonstances, communiquer aux vagues une assez forte impulsion pour qu'à leur tour elles pussent agir sur des terrains meubles et changer leur position.

Le D.r Hibbert a trouvé à l'est des Shetland, près l'habitation de Lunna, les gros blocs appelés les pierres de Stefis, qui paraissent avoir été reculées au moins d'un mille par un choc venant du nord-est.[1]

Il serait facile de trouver un grand nombre de citations analogues, et M. Lyell, dans ses intéressants *Principles of geology*, a rapporté avec un soin minutieux tous les exemples qu'il a pu recueillir des soulèvements, des affaissements et des dislocations du sol produits dans toutes les parties du monde par les continuelles trépidations de la croûte solidifiée de notre planète.

Toutefois nous devons reconnaître, que les effets des tremblements de terre, au moins ceux qui datent de l'époque historique, n'ont affecté que des localités restreintes, tandis qu'il n'en a pas été de même des soulèvements des chaînes des montagnes.

Celui des Alpes, à la fois si moderne et si étendu, a dû agir avec une grande intensité, et il n'est pas douteux, qu'aux diverses époques d'élévation de cette zone montagneuse, des bassins latéraux n'aient été vidés par l'action soulevante qui se fesait inégalement

---

1 Manuel de géologie ; page 215.

sentir sur leurs deux rives. Nul doute que les grands lacs qui existaient des deux côtés de la chaîne n'aient été ouverts, et que les eaux, lancées avec vitesse, n'aient pu disperser au loin des débris et remanier ceux qui existaient déjà.

Une partie de la France, de l'Italie, de l'Allemagne ont pu être lavées à cette époque par ce mouvement prodigieux; mais il ne faudrait pas, tout en reconnaissant la force d'un tel agent, le regarder comme celui qui a raviné le sol et l'a couvert de terrain détritique. Un lavage de ce genre n'a pu durer longtemps, l'action a été instantanée, subite, et ne peut expliquer le rayonnement du terrain diluvien autour de tous les groupes de montagnes; car sa direction était déterminée et pouvait seulement être modifiée par les obstacles qui se rencontraient à la surface du sol.

L'apparition de l'immense chaîne des Cordillères, qui est peut-être à la fois la plus récente et la plus violente des catastrophes éprouvées par notre globe, a dû produire de bien grandes perturbations sur toute la terre, et nous ne serions pas éloignés d'attribuer à cette violente commotion des transports ou plutôt des déplacements de galets, jusque sur le continent européen.

Les grandes ondulations de l'Atlantique ont pu refouler nos fleuves vers leurs sources, en déplacer momentanément les eaux et produire un de ces grands lavages qui laissent partout des traces superficielles,

mais qui ne peuvent à une telle distance créer des terrains de transport. C'est à une cause analogue qu'il faut rapporter ces terrains alluviens superficiels que nous avons déjà indiqués sur le plateau central de la France et qui se sont déposés entre la formation des basaltes en nappes et celle des cônes volcaniques modernes.

Il est sans doute très-difficile de distinguer les résultats de ces grands courants instantanés, des actions lentes qui ont dû former la plupart des terrains diluviens; mais on est forcé de les admettre dans certaines localités.

M. Jackson a cité[1] des faits nombreux qui doivent convaincre qu'un immense courant d'eau a dévasté la surface du continent américain en partant du nord-ouest, entraînant avec lui d'énormes blocs, creusant des vallées et traçant des sillons parallèles sur les flancs des montagnes. Il existe des preuves que ce courant s'est élevé à plus de 1650 mètres!

Si des chaînes de montagnes modernes ont surgi en croisant sous un certain angle des montagnes déjà formées et couvertes d'eau congelée, comme le suppose M. Élie de Beaumont pour la chaîne principale des Alpes, relativement aux Alpes occidentales; si des roches plutoniques, comme les ophites des Pyrénées décrites par M. de Collegno, ont apparu sous des glaciers,

---

1 *American journal of sciences;* avril 1839.

ou bien, si des volcans puissants, comme ceux de la chaîne des Andes, ont eu des éruptions sous des couches épaisses de neige, on conçoit que l'eau de fusion produite presque instantanément, ait pu entraîner des blocs et créer sous ces conditions des terrains de transport plus ou moins étendus.

Loin d'être exclusifs nous admettons encore ce mode de création, qui a pu prendre une part plus ou moins large à la dispersion du sol de transport dans certaines localités; mais nous ne pensons pas qu'il ait exercé son action dans les Alpes sur le terrain erratique que nous considérons comme postérieur au dernier soulèvement de cette chaîne.

M. de Charpentier a combattu de toutes ses forces et avec toute la puissance de son jugement et de sa longue pratique en géologie, la théorie des courants considérés comme moteurs des blocs erratiques. Nous ne rapporterons ici ni ses expressions ni ses motifs de conviction[1]; nous nous contenterons de faire remarquer que l'on ne peut regarder l'altitude des blocs erratiques et des roches striées comme pouvant dépendre de courants d'eau énormes, à cause de la mobilité même du liquide qui n'aurait jamais pu s'accumuler en quantité suffisante pour atteindre de telles élévations, tandis qu'à l'état solide la chute successive

---

1 De Charpentier, Bulletin de la Société géolog. de France; 2.e série, tome IV, page 274.



de grandes quantités de neige peut combler des vallées et produire à la fois les stries et le dépôt des blocs.

Il faut peut-être accorder plus d'importance dans les phénomènes produits par ces soulèvements aux causes qui, pendant ces puissantes actions plutoniques, sont venues modifier l'influence atmosphérique en y introduisant subitement des éléments de tumulte et de désordre.

L'apparition des grandes chaînes, comme les Alpes, les Pyrénées, les Andes, ont dû, à plusieurs époques, volatiliser d'immenses quantités d'eau qui ont obscurci l'atmosphère.

On ne peut se faire une idée des masses de vapeur qui ont dû s'élever à ces diverses époques, et nécessairement leur condensation a dû s'opérer à des distances plus ou moins grandes, selon les vents régnants, selon la hauteur et la proximité des montagnes voisines.

Nul doute, que des quantités de vapeurs aussi considérables n'aient pu alimenter des glaciers déjà existants à ces époques, ou du moins s'accumuler en neige sur certaines cimes où ces mêmes neiges auraient ensuite fondu; mais c'est principalement sous forme de pluies très-intenses et très-étendues que ces eaux auront dû agir, en donnant naissance à des érosions et à des transports très-considérables.

La production d'une grande quantité de vapeurs chaque fois que l'intérieur du globe se trouve en contact avec l'atmosphère ou avec des eaux souterraines, est

un fait que l'on remarque dans toutes les éruptions volcaniques, et qui a dû se présenter sous des proportions gigantesques, quand le sol s'ouvrait pour livrer passage à des chaînes de montagnes tout entières.

Ainsi, nous voyons les actions sédimentaires, en apparence si simples, se compliquer par l'intervention des forces plutoniques à des époques très-différentes de l'âge du monde, et nous prouver que la nature a mille moyens divers pour parvenir au même but. Ce n'est donc que par l'étude sérieuse de tous les faits accessibles à notre investigation que nous arriverons à connaître quelques-unes des causes qui ont contribué à amener l'état actuel de la terre que nous habitons.

CHAPITRE XXII.

DE L'AGE DES TERRAINS DILUVIEN ET ERRATIQUE.

L'examen que nous venons de faire des terrains de transport nous amène à reconnaître, que la période pendant laquelle ils ont été déposés, a dû être excessivement longue, puisque le soleil aurait pu se refroidir assez pour diminuer considérablement la quantité des vapeurs qui se formaient alors à la surface de la terre. Déjà nous avons exprimé la pensée, que les périodes géologiques avaient été d'autant plus courtes, que les actions étaient plus intenses, et, comme nous admettons l'affaiblissement successif des causes agissantes, nous avons considéré les temps géologiques comme pouvant être représentés par les termes d'une progression géométrique qui, commençant à la consolidation des premières roches, serait exprimée par 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, etc.

Si les grandes perturbations, telles que les soulèvements, sont réellement dues au refroidissement du globe, ils ont pu suivre à peu près ce même ordre pour se produire.

Ce qu'il y a de certain, c'est que la dernière période a été la plus longue, et que c'est pendant cette époque

que les terrains de transport proprement dit ont commencé à se déposer.

Cette longue période se lie incontestablement aux terrains tertiaires, et elle arrive jusqu'à nous sans interruption et sans limites bien tranchées.

Ce qui, pour nous, caractérise principalement les actions de transport, c'est la présence de la neige ou de la glace, pouvant s'accumuler pendant un certain temps et fondre ensuite plus ou moins rapidement. Or, il est impossible que des actions de ce genre aient été contemporaines, et aient toutes commencé à la même époque.

En reculant aux premiers temps géologiques l'influence extérieure de la chaleur centrale, et la remplaçant depuis les terrains jurassiques par l'action du soleil, nous admettons dès cette époque, ou au moins depuis la craie, la présence de la neige aux deux pôles du globe, et nous la voyons successivement augmenter jusqu'à l'époque des blocs erratiques, où les conditions de chaleur et de froid alternatives ont dû acquérir le plus de différence et produire les plus grands effets.

Si la surface de la terre eût été nivelée, si elle eût été sans montagnes et sans vallées, le phénomène erratique ne se serait produit qu'aux deux pôles; mais l'apparition des grandes chaînes, qui ont modifié le relief extérieur, a dû contribuer aussi à déterminer la formation de ce terrain. Dès que des points plus refroidis se sont élevés dans des régions plus chaudes,

où d'abondantes vapeurs se formaient, ces points ont agi comme les pôles et ont immédiatement condensé. Or, puisque toutes les montagnes n'ont pas été soulevées en même temps, il est évident que le terrain erratique ne peut pas appartenir à une époque unique, comme cela aurait eu lieu si l'on admettait, avec un grand nombre de géologues, une période frigorifique qui lui aurait donné naissance.

Malheureusement nous connaissons si peu de terrains de transport bien décrits, bien étudiés; nous avons si peu de notions sur les points du globe étrangers à l'Europe, que nous ne pouvons hasarder aucune conjecture sur l'âge de tous ces terrains diluviens que l'on rencontre partout. L'Europe est une bien petite partie de la terre pour lui rapporter toutes nos théories géologiques, et quoique réellement très-accidentée, elle ne peut nous donner tous les renseignements dont nous aurions besoin dans une question aussi délicate.

Dans les dépôts sédimentaires, ou dans les actions de transport opérés sous l'influence de la chaleur solaire, il doit exister de très-grandes différences entre les dépôts des pôles qui ont dû s'effectuer les premiers, et ceux de l'équateur, que l'on connaît à peine.

Depuis longtemps M. Constant Prevot a appelé l'attention des géologues sur ce qu'il appelle le synchronisme des formations; mais nulle part on ne peut

mieux appliquer ses idées qu'à la formation du terrain erratique. En effet, depuis le moment où la température intérieure du globe a cessé d'être sensible à la surface, les pôles ont dû alternativement se refroidir et recevoir presque toute l'eau qui tombait de l'atmosphère, et nul doute que chaque hiver il ne se soit produit une énorme quantité de neige, que le soleil aura fondu à son retour, et, dès lors, ce terrain erratique aura pu se montrer, peut-être même pour certains points immédiatement après le terrain houiller; ce dépôt augmentant toujours, a dû atteindre son maximum à une époque déjà très-éloignée de la nôtre; en sorte que des terrains tertiaires et même secondaires pouvaient très-bien se former, pendant que des terrains que nous appelons de transport et d'alluvion, et que nous plaçons à une période très-moderne, se déposaient déjà parallèlement à ceux que nous considérons comme beaucoup plus anciens.

Ces terrains de transport du nord ont été, en général, jugés un peu trop ressemblants au terrain de même nature dans les Alpes. Celui-là, en effet, peut être et doit être beaucoup plus moderne; car, d'après la latitude de cette chaîne, il n'a pu commencer à se former que longtemps après l'autre, et d'ailleurs le soulèvement récent de ces montagnes indique avec précision l'époque de sa première période.

Le terrain de transport des Pyrénées est aussi plus moderne que le terrain polaire, et il est plutôt torren-

tiel que glaciaire, comme l'a reconnu M. de Collegno.

Il n'y a donc rien d'étonnant que M. de Meyendorf ait signalé la présence des blocs erratiques enfouis dans les terrains tertiaires de la Russie; la multitude de ces blocs qui couvrent toutes ces contrées, sont descendus du nord et surtout de la longue chaîne scandinave. Ils en partaient pour s'embarquer sur les mers intérieures, qui couvraient alors presque tout le nord de l'Europe, avant le soulèvement lent et encore contemporain de cette contrée, et peut-être même avant qu'aucune partie des Alpes n'ait surgi au-dessus du sol.

M. Durocher considère aussi le terrain erratique du nord comme plus ancien que certaines alluvions; car il a observé des coupes où l'on voit « des calcaires, « qui sont positivement tertiaires, en recouvrement « au-dessus de ces sortes de terrains, ayant l'apparence « diluvienne. »[1]

Il admet, comme nous, le passage du terrain tertiaire au sol alluvien, et il ne paraît pas éloigné de considérer l'époque du commencement des transports pour le nord de l'Europe, comme pouvant coïncider avec la période crayeuse. Voici du reste ses propres paroles :

« Il y a, sous le rapport pétrographique, un passage

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, t. III, page 85.



« entre le terrain diluvien et la formation tertiaire « sous-jacente; celle-ci se compose, en effet, de couches « argileuses et arénacées, à l'intérieur desquelles il y a « des blocs de granit, provenant probablement des « rochers de la Scandinavie; mais elle est caractérisée « par la présence de bancs de lignite et de coquilles « tertiaires, appartenant à la période subapennine ou « miocène, tandis que les coquilles contenues dans le « terrain diluvien sont semblables à celles qui vivent « aujourd'hui dans la Baltique. Toutefois, il est évident « que le transport de matériaux très-volumineux a pu « s'effectuer dans des mers tenant en suspension des « détritus aussi ténus que les argiles, et dans lesquels « vivaient des animaux marins : c'est pendant la pé- « riode diluvienne que ce transport a eu lieu sur la « plus grande échelle; mais il s'est fait aussi pendant « la période tertiaire, et maintenant encore il a lieu « dans des conditions analogues, c'est-à-dire, à l'aide « de glaces flottantes, sur les rives de la Baltique, sur « les bords des fleuves et des lacs du nord de l'Europe. »[1]

Et il ajoute un peu plus loin :

« Il est à remarquer qu'au midi des Alpes le terrain « tertiaire miocène, que l'on voit affleurer sur la colline « de Superga, près Turin, contient des blocs très-vo- « lumineux, provenant des Alpes, de même que le

1 Durocher, Bullet. de la Société géol. de France; 4.e série, tome IV, page 53.

« terrain du Danemarck, formé à la même époque,
« renferme des blocs scandinaves. J'ai aussi observé
« que les terrains tertiaires miocènes dans l'ouest de
« la France sont des terrains de transport, argileux
« et arénacés, renfermant de gros fragments arrachés
« aux roches paloeozoïques, et l'on voit même souvent
« à leur surface de véritables blocs erratiques, dont
« le volume est supérieur à 1 mètre cube : ces dépôts
« attestent l'existence de grands courants, qui ont
« couvert d'immenses étendues de terrain, et qui ont
« érodé les plateaux élevés, de même que les plaines
« basses; ainsi, à la même époque, pendant la période
« tertiaire moyenne, le sol de différentes parties de
« l'Europe a été soumis à des actions diluviennes.
« Il paraîtrait, d'après les observations de M. Forch-
« hammer, que l'agitation des eaux, qui a déterminé
« le transport des détritus de roches scandinaves vers
« le midi, aurait même commencé dès la fin de la
« période crétacée; car on trouve dans le Danemarck
« ces détritus associés à des débris de coraux dans
« des couches situées à la partie supérieure de la série
« crétacée. »[1]

On comprend donc toute l'importance de l'âge des montagnes sur la dispersion des terrains diluviens et erratiques. Le soulèvement si reculé de la chaîne

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, tome IV, page 53.

scandinave, au pied de laquelle MM. Murchison et de Verneuil n'ont trouvé que les plus anciennes couches siluriennes redressées, et la situation de cette chaîne sous des parallèles si élevés, nous indique de la manière la plus positive que des neiges s'y sont accumulées et que des glaciers y ont existé avant le soulèvement des Alpes, en même temps que cette ancienne origine nous démontre une élévation bien plus considérable, puisque les blocs et une partie du terrain diluvien, jusqu'à 12000 kilomètres de distance, lui appartiennent.

La présence, au centre de la France, des groupes de la Lozère et d'un plateau très-ancien, aujourd'hui dégradé et surbaissé, peut aussi nous expliquer ces puissantes dégradations, qui se sont opérées tout autour, sur une zone extrêmement large, et dont les dépôts appartiennent certainement à des époques distinctes.

Or, si nous prenons en Europe seulement quatre points où se montre le terrain de transport, que l'on rapporte ordinairement à une même époque géologique, les Alpes scandinaves, l'île granitique centrale, les Pyrénées et la grande chaîne des Alpes, nous y trouverons quatre dépôts, d'âges différents, rangés chronologiquement dans l'ordre que nous venons d'indiquer, mais cependant empiétant par le temps les uns sur les autres, puisque tous sont encore aujourd'hui en voie de formation très-lente mais continue.

Il y a toujours de grandes difficultés pour déterminer l'âge d'un terrain de transport quand celui-ci n'est pas recouvert, et surtout quand il repose, comme celui du Nord, sur le sol primordial ou sur des terrains très-anciens. Ainsi il y a peut-être en Russie, en Suède et en Norwège, des blocs qui datent d'une époque géologique extrêmement reculée. Ces blocs gisent sur le sol même qui les a fournis, et l'on trouve dans certaines contrées de véritables centres de production. « Ils y sont, dit M. de Verneuil, plus « volumineux, plus nombreux que partout ailleurs, « et ce qu'il y a de bien remarquable, c'est que dans « chacune de ces localités on n'observe qu'une même « variété de roches. Si l'on examine la nature des « roches en place, on reconnaît qu'elle est la même « que celle des blocs anguleux; ceux-ci ont donc été « arrachés au sol sous-jacent, soulevés, déplacés et « entassés par une force mécanique d'une grande puis- « sance. On ne peut attribuer leur production à des « éboulements semblables à ceux que l'on voit au pied « des hautes montagnes, car ils recouvrent particu- « lièrement les sommités; ni à une désagrégation par « altération de la roche; car, outre que le phénomène « est général et s'applique à toute espèce de roches, « les blocs semblent être souvent à une petite distance « de leur lieu d'origine, et reposent sur une mince « couche de sables et de graviers.

« Ainsi granites, gneiss, porphyres, grès stratifiés,

« tous ces terrains sont couverts dans une partie de la « Suède d'un amas de ruines et de débris formés sur « place et à leurs propres dépens, vastes magasins, « d'où peut-être sont dérivés plusieurs des blocs trans- « portés au loin vers le sud. Quelle que soit la cause « que l'on assigne à ce phénomène, deux conditions « paraissent lui être nécessaires : c'est d'être à la fois « énergique et locale. »[1]

Ces terrains doivent être fort anciens, et l'on comprend que la gelée qui se prolongeait en hiver, et le dégel accompagné de la chute de pluies excessivement abondantes et périodiques répétées, devaient séparer des masses de rochers, les user, les détruire en partie, et en laisser d'énormes amas avec les sables et graviers provenant de leur décomposition.

Si ces points élevés formaient des îles peu saillantes au-dessus des eaux, les actions destructrices que nous avons déjà signalées comme pouvant détacher et soulever un grand nombre de blocs sur les bords des fleuves et des lacs, devaient aussi se produire et laisser sur place ceux des matériaux qui n'étaient pas entraînés. Des collines ont pu disparaître ainsi par l'action si longtemps continuée des gelées pendant les hivers polaires. L'âge de ces blocs est donc impossible à déterminer.

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, tome III, page 91.

CHAPITRE XXIII.

DES HYPOTHÈSES RELATIVES A LA DISPERSION DES TERRAINS ERRATIQUE, ET DILUVIEN.

Nous terminerons ces longues observations sur les terrains de transport, en examinant quelques-unes des hypothèses qui ont été proposées pour rendre compte de ces grands phénomènes et surtout de cette mystérieuse dissémination des blocs erratiques. Nous croyons avoir à peu près démontré leur impossibilité; aussi nous nous y arrêterons peu, mais comme plusieurs des causes qui y sont indiquées peuvent réellement avoir eu une influence quelconque sur la création de ces terrains, nous devons les signaler pour compléter notre travail.

Deux ordres de causes ont été invoquées pour expliquer le transport de ces terrains : les unes appartiennent à la terre elle-même, les autres sont extérieures et dépendent de conditions particulières sous l'empire desquelles le globe aurait été momentanément placé.

Occupons-nous d'abord des premières.

On s'accorde assez généralement à reconnaître, au moins pour le nord de l'Europe, le transport par des

glaces flottantes et un soulèvement continental ultérieur ; mais cependant il est des géologues qui admettent une période glaciaire que nous examinerons plus loin et qui veulent aussi que la majeure partie des alluvions du nord soient des moraines ou leurs débris.

Quant aux blocs des Alpes, il y a longtemps que M. de Buch les a considérés comme entraînés par de violentes débacles qui auraient eu lieu dans les vallées transversales et qui les auraient amenés sur les flancs du Jura, quelquefois même les aurait fait sauter par-dessus cette chaîne.

M. E. de Beaumont, adoptant cette origine, explique ces immenses courants que Saussure attribuait à la retraite de l'Océan, par le soulèvement de la dernière chaîne des Alpes et par d'immenses dégagements de matières gazeuses qui ont dû l'accompagner. Les glaces qui existaient déjà sur les Alpes antérieurement soulevées, auraient instantanément fondu et auraient donné naissance à ces torrents rapides capables d'entraîner au loin les plus gros quartiers de roches, libres ou encore enchassés dans des masses de glaces qui auraient facilité leur transport. En même temps les lacs placés au pied des Alpes auraient produit d'énormes vagues qui auraient balayé le sol à une très-grande distance.

M. le professeur Fournet semble adopter la même idée.

M. de Collegno, qui a fait sur le revers méridional des Alpes des observations analogues à celles de M. Guyot sur les autres parties de cette chaîne, a reconnu comme lui que la nature des débris transportés était tout à fait en rapport avec les roches qui dominent ces mêmes vallées. Il a vu qu'à une certaine distance, comme par exemple au sud de Milan, les cailloux étaient petits et arrondis, qu'ils grossissaient à mesure que l'on approchait des Alpes, et qu'enfin, dans les vallées et à leur ouverture, ces mêmes blocs devenaient anguleux.

C'est à la fonte instantanée des glaces, comme le suppose M. de Beaumont, que M. de Collegno attribue l'agent qui a opéré le transport de toutes ces masses, et, d'après lui, les lacs de Leco, de Como, de Lugano, seraient le lit creusé par ces énormes courants.[1]

Nous nous trompons peut-être, mais il nous a été impossible de voir dans le terrain de transport du revers méridional des Alpes, de même que dans les atterrissements situés au nord de cette chaîne, autre chose que l'action lente, séculaire, de forces, qui avaient bien une certaine intensité et même une action tumultueuse, mais qui ont dû agir pendant bien longtemps pour rouler une si grande quantité de débris et en former de si puissantes couches alluviales.

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; nouv. série, tome II, page 286.

Il est impossible qu'une action instantanée ait amené ces résultats : ils sont dus à des cours d'eau très-puissants, analogues à ceux qui déposaient les alluvions les plus anciennes, mais qui, en se rapprochant de l'époque actuelle, ont eu leurs temps d'arrêt et leurs moments d'action, changements qui se sont opérés à l'époque erratique, lorsque l'eau a pu se congeler en neige en hiver et reprendre l'état liquide au printemps. Alors la glace a commencé; les cimes des montagnes, qui d'abord n'étaient soumises qu'à l'érosion aqueuse, qui n'étaient détruites que par des pluies torrentielles, ont commencé à ressentir l'action des hivers. L'eau les a pénétrées, s'est congelée dans leurs interstices, les a battus en brèche et a considérablement diminué leurs hauteurs. Alors seulement ont paru les gros fragments qui ont formé le terrain erratique; alors a commencé le transport par l'extension des glaciers, par la fonte des neiges, par les torrents printanniers et les radeaux chargés de blocs, résultats dont les causes complexes sont souvent bien difficiles à démêler, mais dont la puissance a eu une bien grande influence sur le relief actuel du sol dans les zones glaciale et tempérée de notre hémisphère.

Nous croyons d'ailleurs que le terrain erratique des Alpes est postérieur à leur dernier mouvement.

M. de Collegno a encore rapporté à une cause semblable le terrain de transport des Pyrénées. Il le considère comme entraîné par les torrents instantanés,

qui résultèrent de la fonte subite des neiges et des glaciers par l'apparition des ophites et des gaz, qui durent se dégager en même temps.

M. de Charpentier a vivement combattu cette hypothèse au congrès de Milan et a cherché à prouver qu'il serait impossible que des masses de glaces fondissent assez subitement pour produire de tels effets, et il demande même si la totalité des glaces des Pyrénées, fondant en un instant, pourraient donner naissance à des courants suffisants pour expliquer le phénomène diluvien que l'on y observe.

Monseigneur Billiet, le savant archevêque de Chambéry, admet aussi les courants comme cause du terrain erratique.

« Il est un grand nombre de dépôts, tels que l'al-
« luvion ancienne, les mollasses de la Suisse et des
« collines de Turin, etc., qui indiquent évidemment
« l'existence de courants immenses, auxquels il faut
« attribuer leur transport. L'analogie nous permet de
« supposer au phénomène erratique une cause sem-
« blable. »[2]

Nous voulons bien croire à la puissance des courants dans la création de tous ces terrains, puisque nous admettons leur existence périodique annuelle dans toutes les hautes montagnes, mais nous ne pou-

1 Bulletin de la Société géologique de France; nouv. série, tome I, page 638.

vons accepter que l'ordre qui existe dans la dispersion du terrain erratique, que l'arrangement remarquable qui ressort d'une étude sérieuse des alluvions des Alpes soient le résultat de causes violentes. Nous n'admettons celles-ci que comme de simples accidents; ainsi, par exemple :

Le mont Cervin, entièrement isolé, dénudé, ne présente pas à sa base tous ses blocs éboulés qui ont dû s'en détacher.

Une foule de points offrent des exemples semblables, et ce n'est certes pas une seule lame d'eau qui a pu tout entraîner. Il a fallu des siècles pour que tout ce qui manque aux Alpes ait été enlevé, arrondi et soit venu couvrir les vastes plaines qui, de chaque côté, s'étendent à leurs pieds, chargées d'alluvions.

Monseigneur Rendu, dont les opinions sont pour nous d'un très-grand poids en géologie, reconnaît aussi que les blocs erratiques de la Suisse sont le résultat d'une cause agissant avec suite et surtout avec une grande lenteur.

« Si l'on est forcé, dit-il, d'admettre que le glacier « du Rhône se prolongeait dans un temps à plus de « 20 lieues de distance du point où il est maintenant, « je ne comprends pas pourquoi on refuserait de dou- « bler et même, s'il était nécessaire, de tripler cette « étendue. Quand nous voulons assigner des causes « aux phénomènes qui frappent nos regards, nos théo- « ries sont toujours plus ou moins douteuses, plus ou

« moins hasardées, mais elles ne sont jamais plus « probables et plus sûres que quand nous prenons « notre point de départ dans l'action présente de la « nature, dans ce qui se passe encore sous nos yeux. « Or nous avons pu la prendre sur le fait.

« Elle charrie encore des blocs erratiques, et ce « qu'elle fait aujourd'hui, elle le fit autrefois ; ce « qu'elle fait sur un point, elle le fit sur d'autres. »[1]

Monseigneur l'évêque Rendu trouve la cause de l'extension des glaciers dans l'étendue plus grande que les plateaux devaient avoir autrefois avant d'avoir fourni les matériaux des terrains d'alluvions.

M. de Charpentier avait aussi reconnu, comme la plupart des géologues l'admettent aujourd'hui et comme M. Venetz l'avait indiqué le premier, que le terrain erratique était dû à l'ancienne extension des glaciers. Il avait supposé, pour expliquer le phénomène, que les Alpes, depuis leur soulèvement, s'étaient tassées et s'étaient successivement abaissées jusqu'à leur état actuel.

En calculant l'abaissement de température de 1° pour 160 mètres, et en établissant que les glaciers ne peuvent se conserver que sous un climat à température moyenne de + 6, comme la vallée de Chamouni, M. de Charpentier suppose que l'élévation addition-

1 Bulletin de la Société géologique de France; nouv. série, tome I, page 634.

nelle des Alpes a dû être de 1466 mètres, ce qui portait le Mont-Blanc à 6278 mètres, au lieu de 4810.

Mais rien ne prouve que les glaciers aient pour limite inférieure d'extension une chaleur atmosphérique de + 6; on en voit plusieurs sur le revers méridional des Alpes, qui atteignent une température plus élevée, et nous savons d'ailleurs que leur limite inférieure n'est pas indiquée par le degré de chaleur, mais par la masse envoyée par le nevé et qui résiste d'autant plus longtemps qu'elle est plus considérable.

Aussi M. de Charpentier a renoncé à sa première idée de croire que les Alpes étaient plus élevées autrefois que de nos jours; il suppose qu'une série d'années très-pluvieuses a pu suffire à l'ancienne extension des glaciers. « En 1818, dit ce géologue, le glacier du « Rhône avait avancé de 150 pieds; en supposant « une marche progressive annuelle semblable, il lui « faudrait 774 années pour arriver jusqu'à Soleure, « c'est-à-dire à 66 lieues du fond du Valais. »[1]

C'est aux vapeurs produites par l'eau qui tombe, lors des soulèvements dans les crevasses de la terre, et à la grande perturbation atmosphérique qui en résulte, que M. de Charpentier demande sa série d'années brumeuses, humides et froides, très-propres à l'avancement des glaciers.

Nous avons déjà dit la part que nous accordions

1 De Charpentier, Biblioth. de Genève; février 1842, p. 407.

aux phénomènes atmosphériques occasionnés par les soulèvements; mais, quoiqu'on n'ait pas l'habitude, comme le dit M. de Charpentier, de marchander le temps aux géologues, nous ne pouvons croire que les effets accidentels du soulèvement des Alpes sur l'atmosphère aient pu durer assez longtemps et puissent avoir produit le phénomène.

M. de Charpentier s'explique aussi sur l'âge du terrain erratique des Alpes. Il attribue aux glaciers trois principaux phénomènes : la configuration du sol des vallées et de la plaine entre les Alpes et le Jura, le dépôt du terrain diluvien, ainsi que le transport et la dispersion du terrain erratique. Ces trois phénomènes, qui se continuent encore de nos jours, quoique sur une échelle fort réduite, ont été en quelque sorte contemporains dans l'époque diluvienne; mais les actions qui furent prédominantes, se succédèrent dans l'ordre dans lequel ils sont énoncés. En effet, si, comme le pense M. Agassiz, la dispersion des débris erratiques avait eu lieu la première et au moment où les Alpes percèrent la nappe de glace, qu'il suppose avoir alors existé, on devrait trouver ces débris généralement recouverts et ensevelis par le diluvium, ce qui n'a pas été observé.

Le remblaiement partiel des crevasses soit au moyen de gros fragments des roches brisées, qui font encore saillie sur le fond des vallées, soit par des matériaux entraînés par les eaux qui pénétraient par les fissures,

dut commencer immédiatement après le soulèvement.[1]

M. Agassiz admet une période glaciaire pendant laquelle toute la terre aurait été couverte de glace et de neige; un vaste plan incliné se serait étendu du sommet des Alpes au Jura, et lors du soulèvement de la dernière chaîne des Alpes, les blocs auraient glissé sur cette pente et seraient descendus jusque dans les lieux où ils gisent aujourd'hui. Cette hypothèse de glaces disposées en plan incliné, avait déjà été présentée, comme le fait observer M. de Charpentier, par M. Schimper, dans une ode allemande, et elle a été développée par M. Agassiz. Elle est adoptée aujourd'hui par quelques géologues.

M. Agassiz attribue une si grande masse de glace à un abaissement de température, et il regarde l'apparition de la dernière chaîne des Alpes comme la cause qui a mis un terme à ce froid rigoureux et a fait fondre les glaces existantes. Il admet pourtant que la fusion a été très-lente.

« Les moraines proprement dites ne commencèrent « à se déposer que du moment où les glaces se furent « retirées dans les vallées. La forme et la succession « de ces moraines nous prouvent que ce retrait des « glaces, loin d'avoir été instantané, s'est au contraire « opéré d'une manière lente et graduelle, d'où je con-

---

1 De Charpentier, Bibliothèque de Genève; février 1842, page 408.



« clus que l'époque de la plus grande extension des « glaces a dû durer assez longtemps. »[1]

M. Agassiz croit que la température de la terre a éprouvé des oscillations et qu'elle tend continuellement à s'abaisser jusqu'à ce que chaque grande époque de soulèvement, ouvrant pour ainsi dire les entrailles du globe, verse dans l'atmosphère une grande quantité de chaleur, qui la réchauffe pour longtemps.

Il est bien difficile de trouver une théorie qui s'accorde moins avec les faits, même avec tous ceux qu'a si bien observés M. Agassiz lui-même.

Quand on considère les vastes échancrures et toutes les solutions de continuité qui existent dans les grandes chaînes de montagnes, on arrive à cette conclusion qu'une très-grande quantité de matières a été entraînée; mais si l'on cherche dans les Alpes, par exemple, quel serait l'effet d'une période glaciaire qui aurait recouvert toute la chaîne, on reconnaît bientôt que ce manteau de neige aurait protégé toutes les hautes cimes, comme les champs de neige qui cachent aujourd'hui les hautes régions, les abritent contre les grands phénomènes d'érosion et de dislocation provenant de la fonte périodique des neiges et des alternances de gel et de dégel. Abaissez la température et vous arrêtez tout. Les glaciers entraînent au loin les fragments qui tombent à leur surface, des obélisques

1 Agassiz, Études sur les glaciers; page 317.

et des aiguilles qui les dominent; mais, si la couche de neige eût été assez abondante pour couvrir toutes les cimes escarpées, nulle action destructrice n'aurait pu s'y manifester. Il est très-vrai que les glaciers usent aussi par le frottement leur fond et les parois de la vallée où ils sont encaissés, mais cette usure a plutôt pour résultat de blanchir l'eau qui s'en échappe et de la charger de sable, de limon et de graviers, que d'en détacher de grosses masses et de les employer à l'édification de leurs moraines. Ce sont les blocs qui tombent dessus et qui sont charriés jusqu'à l'extrémité où la fusion s'opère, qui forment ces grands flotteurs qui marquent le point d'arrêt et semblent limiter l'extension du glacier.

Or, rien de tout cela n'arriverait, si le froid était assez intense pour produire sur une chaîne, comme celle des Alpes, un hiver séculaire.

Aucuns débris ne tomberaient à la surface des nevés, et les glaciers, qui n'avancent que pendant la chaleur, et d'autant plus que la température est plus élevée, seraient soudainement arrêtés.

Si la fonte d'une telle enveloppe de neige et de glace a été instantanée, elle peut avoir produit alors des effets prodigieux.

Mais il est inutile d'admettre cette immensité de neige, si l'on veut convenir qu'une cause quelconque, mais soudaine, a fondu les glaciers des Alpes et a donné naissance aux torrents qui ont emporté leur

débris. L'hypothèse de M. Élie de Beaumont suffit parfaitement à cette explication. Ce qui s'oppose à son admission, c'est la régularité du phénomène erratique; c'est le triage remarquable et ménagé des produits de chaque vallée, qui souvent sont restés séparés après la jonction de plusieurs affluents; c'est la régularité des lignes de nivellement, le nombre immense des blocs, la variété de leur volume, et au milieu d'un désordre apparent, cette espèce d'ordre qui se révèle dans le terrain erratique et qui accuse une cause régulière et longtemps agissante.

Si l'on admet la fonte lente et continue de cette immense quantité de glaces, le phénomène rentre dans les causes actuelles, qui sont insuffisantes pour expliquer tous les terrains erratiques.

On est donc forcé d'en revenir à des alternatives de chaud et de froid, à des chutes de neige abondantes, à des glaciers plus grands et à des fontes régulières et périodiques en rapport avec la température plus élevée de l'été, comme l'extension des glaciers l'était nécessairement avec l'abondance des neiges qui tombaient dans la saison d'hiver.

Comment, dans tous les cas, expliquer la présence de ces grandes quantités de neige d'une période glaciaire, s'il ne reste sur la terre aucun point où l'évaporation puisse se faire, et si on supprime la chaleur, qui seule peut produire la vapeur d'eau.

M. Renoir, qui a publié sur les glaciers des travaux

très-intéressants, reconnaît l'hypothèse de M. Agassiz et admet aussi l'enveloppe glacée de notre planète; mais il s'est réfuté lui-même quelque temps avant de se ranger du côté des glacialistes.

« En considérant, dit-il, que je n'ai pu trouver de « traces de l'ancienne existence des glaciers dans les « plaines éloignées des montagnes, je suis porté à « croire, que, au moins dans notre partie méridionale « de l'Europe, les glaces ne se sont jamais étendues « beaucoup au delà des pieds de ces chaînes; qu'elles « ont pu constituer des masses immenses, mais dis- « tinctes, et généralement non continues d'une chaîne « à une autre, et peut-être d'une montagne à l'autre. »[1]

Glacialistes ou glaciéristes, tous ne veulent admettre l'extension définie ou indéfinie des glaciers qu'au moyen d'une longue période frigorifique, dont on cherche à constater l'existence par des moyens très-différents, peu probables, mais au moins très-ingénieux.

M. Lyell attribue la dispersion des blocs erratiques en partie aux glaces flottantes et en partie à des causes résultant d'un abaissement de température; et il explique les variations qui, selon lui, ont eu lieu dans le climat par une répartition variable aux différentes époques entre les mers et les continents.

Malgré le talent avec lequel est présentée l'hypothèse

---

1 Renoir, Bull. de la Société géol. de France; tome II, p. 64.

de M. Lyell sur les changements produits par cette inégale distribution des continents, il est bien difficile de ne pas considérer toujours la latitude comme la principale cause de la température; non que nous veuillons nier l'influence de la distribution des continents et des îles relativement aux mers, ni les modifications qui peuvent être produites par l'élévation, l'exposition, etc., mais nous persistons à croire que ce sont des causes accessoires ou locales et que la latitude doit conserver toute sa prépondérance. Une contrée que le soleil abandonne pendant plusieurs mois sera toujours une région froide, à moins qu'une cause intérieure de chaleur ne puisse compenser cette absence. Il serait assez singulier, dans l'hypothèse de M. Lyell, que les choses se soient passées de telle manière que la température du globe ait toujours été en s'affaiblissant jusqu'à l'époque actuelle.

M. le marquis de Roys a donné aussi une théorie très-ingénieuse du refroidissement qui aurait produit ces anciens glaciers. D'après lui ce refroidissement aurait eu lieu à chaque révolution du globe, mais il serait devenu plus intense à l'époque des dernières. Les différences de capacité pour le calorique, données à l'écorce solide du globe par la tension qu'elle éprouve, et d'immenses évaporations, produites à l'époque de chacun des soulèvements par une rapide augmentation de chaleur, auraient déterminé ces larges fluctuations de température dont le dernier abaissement aurait détruit

les êtres organisés et créé ces glaces immenses que plusieurs géologues réclament aujourd'hui.[1]

D'après M. Rozet, chaque apparition de chaîne de montagne, ayant accumulé au-dessous de la chaîne une quantité de matière plus considérable que celle qui paraît à la surface, il en est résulté chaque fois un léger déplacement dans l'axe de rotation de la terre. M. Rozet attribue à ces mouvements les changements correspondants de la forme du globe qui ont produit les grands phénomènes géologiques, le retour successif de la mer dans le bassin de Paris, les éruptions volcaniques de l'Auvergne, des Andes et le diluvium des régions boréales.

« Si un mouvement intérieur, déterminé par une « cause quelconque, agit pour déformer le globe en « diminuant le diamètre de l'équateur, le principe de « la conservation des axes et de l'invariabilité du mou- « vement d'inertie dans le mouvement de rotation, « forcera les eaux à se rendre lentement des pôles vers « l'équateur, alors le globe tendra à se rider dans le « sens des méridiens, et la surface tendra à se crevasser « du nord au sud. Si une crevasse vient à se produire, « le globe cherchera subitement à reprendre sa forme « primitive, et les eaux retourneront avec violence vers « les pôles, entraînant avec elles les productions des « régions intertropicales où elles s'accumuleront en

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XIII, p. 243.

« grande quantité et s'élèveront à une certaine hauteur « en brisant la colonne de glace ; mais là, ayant perdu « leur vitesse, elles se trouveront bientôt uniquement « soumises à l'action de la pesanteur qui les précipitera « vers l'équateur, charriant les débris de la calotte de « glace et les matériaux qui s'y trouvaient engagés. « Dans un pareil phénomène, les productions de la « zone torride ont dû se trouver accumulées en grande « quantité vers les pôles, et celles de la zone glaciale « dispersées, au contraire, vers les tropiques.

« Or, dans la nature les choses se trouvent être exac- « tement ainsi : il existe une grande crevasse, celle des « Andes, dirigée du nord au sud, dont la production « a dû nécessairement déterminer un double mouve- « ment de l'équateur vers les pôles, et des pôles vers « l'équateur. Il n'est pas probable qu'une pareille coïn- « cidence soit l'effet du hasard : ces deux phénomènes « sont certainement liés. »[1]

La plupart des géologues qui ont admis l'existence des anciens glaciers, ont tous attribué, comme nous l'avons vu, la période de leur grand développement à une époque frigorifique, et c'est aux causes astronomiques qu'ils ont surtout demandé les moyens de se la procurer.

Le déplacement de l'axe terrestre a été souvent invoqué, et malgré toutes les preuves pour ainsi dire

---

1 Bulletin de la Société géologique de France ; t. XIII ; p. 176.

accumulées contre la probabilité de cet événement, malgré les opinions de Newton et de Laplace qui se sont prononcés contre la possibilité du déplacement, on a cru pouvoir expliquer par ce moyen un grand nombre de faits géologiques, et notamment la dispersion du diluvium, l'apparition des glaces et tous les changements de climats.

Rien de plus simple alors que de diriger des profondeurs de l'espace une comète sur notre globe, en lui donnant toutefois assez de masse pour pouvoir le choquer et changer son axe, puis d'appeler une autre comète bien transparente, bien diaphane qui, ralentissant au besoin la rapidité de sa marche, est venue s'interposer, comme une grosse lentille, entre la terre et le soleil, a concentré les rayons de ce dernier sur notre pauvre terre gelée, et l'a ainsi débarrassé instantanément de ces glaces : on conçoit alors l'effet des courants d'eau, etc.

Les comètes ont joué autrefois un très-grand rôle dans l'explication de tous les phénomènes géologiques; on ne les employait cependant qu'avec une certaine discrétion; mais dans ces derniers temps on trouve dans un ouvrage moderne très-bien écrit et rempli de bonnes observations l'emploi de quatorze comètes, au moyen desquelles on a pu, comme on le pense bien, expliquer bien des faits énigmatiques, parmi lesquels se trouvent nécessairement compris les blocs erratiques, le diluvium polaire, etc., et jusqu'à la dépres-

sion de la mer Caspienne, qui indiquerait la place du choc d'une comète qui aurait déprimé l'écorce du globe.

Ce que l'on trouve de plus curieux dans cette singulière théorie des quatorze comètes, ce sont ces chocs réitérés, qui, cependant, ont laissé à la terre la faculté de tourner d'occident en orient, comme toutes les autres planètes, et d'accomplir sa rotation à peu près en vingt-quatre heures, comme Vénus et Mercure, que les comètes ont sans doute traités de la même manière.

Le déplacement de l'axe terrestre n'a donc que très-peu de probabilité; il est même douteux qu'à l'époque où chaque pôle se chargeait alternativement de grandes quantités de glace, la masse enlevée au pôle de fusion et ajoutée annuellement au pôle de congélation, ait pu imprimer à l'axe un très-léger balancement périodique.

On ne peut nier, toutefois, que des changements très-lents dans les températures extrêmes ou moyennes de l'été et de l'hiver n'aient pu avoir lieu sur la terre par le changement de position de son orbite relativement au soleil, et par les modifications de forme ou d'excentricité que cette orbite a subie et auxquelles elle est encore soumise.

On sait que si la terre peut, dans certains cas, se rapprocher du soleil, elle marche plus vite, et que ses inégalités de distance au centre du soleil sont com-

pensées relativement au temps employé pour accomplir l'année, par des inégalités de rapidité dans son mouvement de translation.

Mais, si aujourd'hui le plus grand éloignement de la terre de l'astre qui l'échauffe et qui l'éclaire arrive dans le commencement du mois de juillet, notre hémisphère a l'été à une époque où l'action solaire échauffe le climat par des rayons moins obliques, tandis que l'éloignement du soleil à $1/30$ de la distance totale peut compenser un peu cette augmentation de chaleur; de même qu'ayant l'hiver au moment où la terre, vers les premiers jours de janvier, se trouve rapprochée du soleil, cette saison doit être plus tempérée que si nous étions en même temps à notre plus grande distance de cet astre.

Il est très-vrai que l'accélération de vitesse pendant l'hiver rend cette période de l'année moins longue que l'autre, et que le ralentissement du globe pendant l'été prolonge cette dernière saison. Il peut en résulter une compensation qui rend la moyenne annuelle des deux hémisphères sensiblement égale dans les mêmes latitudes; mais il doit y avoir nécessairement d'un côté des étés plus chauds et des hivers plus froids, ou des climats plus excessifs, par le seul fait de cet éloignement ou de ce rapprochement de $1/30$.

Quelque éloignée que soit l'époque où l'inverse avait lieu, c'est-à-dire où notre hémisphère avait l'été à l'époque de son plus grand rapprochement du soleil,

et l'hiver au moment de sa plus grande distance, nous devons supposer que cette cause a pu avoir une influence très-marquée sur les climats, surtout si à cette époque le soleil était réellement plus chaud qu'aujourd'hui.

Indépendamment de ce changement de position dans l'orbite terrestre, sa forme, comme celle des autres planètes, est sujette à des variations. Elle est maintenant une ellipse peu différente du cercle.

« Aujourd'hui, dit M. Arago, l'excentricité de l'or- « bite terrestre diminue; le petit axe, conséquemment, « grandit; ainsi la chaleur que nous recevons tous les « ans du soleil doit aller en s'affaiblissant. Ceci, à dire « vrai, est une pure abstraction; la variation d'excen- « tricité s'effectue si lentement, qu'il faudrait plus de « 10,000 ans pour qu'elle occasionnât un changement « mesurable au thermomètre dans la température de la « terre, quand on ne remonte qu'aux temps historiques; « l'influence de cette cause doit donc être entièrement « négligée.

« Herschell, qui, récemment, s'est occupé de ce « problème, dans l'espoir d'y trouver l'explication de « divers phénomènes géologiques, admet que la suite « des siècles pourrait amener l'excentricité de l'orbite « terrestre à la proportion de celle de la planète Pallas, « c'est-à-dire à être les $^{25}/_{100}$ du demi grand-axe. Il est « très-peu probable, selon M. Arago, que, dans ses « changements périodiques, l'excentricité de notre or-

« bite éprouve d'aussi énormes variations; et toutefois « ces $^{25}/_{100}$ n'accroîtraient que de la $^{1}/_{100}$ moyenne radia- « tion solaire annuelle! En résumé, une excentricité de « $^{25}/_{100}$ n'altérerait pas d'une manière notable l'état « thermométrique moyen du globe. Il en résulterait « seulement qu'à six mois d'intervalle les plus grandes « et les moindres distances du soleil à la terre, qui, « aujourd'hui, diffèrent à peine de $^{1}/_{30}$, pourraient être « dans le rapport de 5 à 3. A des distances compara- « tives de 3 à 5, les intensités éclairantes et échauf- « fantes du soleil seraient entre elles à peu près comme « 3 est à 1. Faisons maintenant coïncider l'intensité 3 « avec le solstice d'été, c'est-à-dire, plaçons trois soleils « sur nos têtes dans les mois de juillet et août, et nous « nous formerons une idée exacte des chaleurs exces- « sives qu'on éprouverait dans *certains jours* si l'excen- « tricité de notre orbite était $^{25}/_{100}$. Au reste, je ne « saurais trop le répéter, une pareille excentricité n'a « probablement jamais eu lieu, et, dans tous les cas, « on ne pourrait la trouver qu'en remontant dans le « passé jusqu'à 15 000 ou 20 000 ans de l'époque « actuelle. »[1]

15 à 20 000 ans sont à la vérité une longue période pour nous, habitants éphémères du globe; mais ce laps de temps, quelque immense qu'il paraisse à notre esprit, n'est peut-être encore qu'une fraction

---

1 Arago, Annuaire du Bureau des longitudes, 1833; p. 201.

peu étendue de l'époque diluvienne et erratique, et en donnant, avec l'illustre astronome dont nous venons de rapporter les expressions, une limite plus resserrée aux variations de l'excentricité, il pourrait encore en résulter de très-grandes modifications dans la température de la surface de la terre.

Or, comme la variation de distance de la terre au soleil produit le même effet qu'une inégalité dans l'éclat et la puissance calorifique, les phénomènes qui avaient pour principes les causes atmosphériques, ont pu se ressentir de ces climats excessifs, qui ont eu pour origine, à des époques très-éloignées, des différences dans la position et la forme de l'orbite terrestre. En rattachant, comme nous l'avons fait, la formation et l'étendue des glaciers à une question d'évaporation, nous avons accordé par cela même une grande importance à toutes les causes qui peuvent faire varier les quantités de vapeurs produites.

Quelques glacialistes ont aussi réclamé, à l'appui de leur période frigorifique, la théorie de Poisson sur la variabilité possible de la température de l'espace; mais, Poisson n'a pas dit que la terre venait de traverser des régions froides, mais que peut-être elle arrivait d'une course dans des régions plus chaudes de l'espace, et que maintenant, rendue dans une contrée plus froide, elle perdait par rayonnement une partie de la chaleur qu'elle avait acquise; elle devait, par conséquent, se refroidir davantage à sa surface,

et conserver dans l'intérieur de son écorce une partie de la chaleur acquise, qui s'en échappait plus difficilement que de l'extérieur. Il n'y a donc pas, dans cette hypothèse, possibilité de trouver le froid reclamé par les glacialistes.

D'autres causes d'un refroidissement probable ont encore été indiquées.

M. Renoir, après avoir signalé l'existence de glaciers dans les Vosges, demande si on ne devait pas attribuer l'abaissement de température à l'abondance des taches du soleil.

« On sait, dit-il, que plus d'une fois on a compté « jusqu'à 50 taches sur le disque du soleil, dont plu- « sieurs étaient évaluées occuper une surface quadruple « de celle de notre globe, et persistaient pendant plu- « sieurs années. On rapporte que vers 535, la lumière « du soleil fut diminuée pendant 14 mois, et qu'en « 625, la moitié du disque fut obscurcie pendant tout « l'été. Il n'y a pas de raison de regarder cette der- « nière tache comme un maximum; le soleil, en s'en- « veloppant entièrement d'un sombre voile, nous « aurait-il une fois plongés, avec nos planètes, dans « d'épaisses ténèbres et des glaces universelles?

« Enfin, dans les espaces planétaires, la tempéra- « ture devait être inégale comme la dispersion de la « matière, notre soleil, dans son mouvement aujour- « d'hui reconnu autour d'un centre encore ignoré, « aurait-il emporté tout son système avec lui dans un

« milieu plus froid, d'où il ne serait sorti que pour « y être replongé de nouveau à des époques détermi- « nées, que nous saurons peut-être calculer un jour. »[1]

Cette dernière hypothèse, qui se rattache à celle de Poisson, rendrait bien raison d'un refroidissement séculaire ou périodique; mais, comme nous croyons l'avoir suffisamment prouvé, l'augmentation du froid ne peut expliquer les phénomènes glaciaires.

L'hypothèse qui admettrait un refroidissement du soleil antérieur à l'époque actuelle, ne le ferait pas davantage. Il est possible cependant, que l'apparition des taches sur le disque solaire puisse avoir une influence très-marquée sur la quantité de chaleur qui s'en échappe annuellement; ces taches sont peut-être même une conséquence de son refroidissement, qui, dans son état actuel, n'a pas encore une grande action sur sa température, à cause de leur petit nombre, de leur mobilité et du mouvement de rotation de l'astre sur lequel elles se forment. C'est peut-être à des taches analogues que nous devons les changements d'éclat à courtes périodes des étoiles changeantes.

D'après les recherches de M. le professeur Gautier, de Genève, il paraîtrait que les taches du soleil influent sur la température terrestre, et que les années où il y en a beaucoup, sont un peu moins chaudes

1 Renoir, Bulletin de la Société géologique de France; t. II, page 64.



que celles où il y en a peu, et cela contrairement à l'opinion d'Herschel.[1]

Plus tard, en 1840, abandonnant l'hypothèse des taches solaires pour le refroidissement du globe, M. Renoir a lu à la Société géologique de France un mémoire, dans lequel il recherche la cause qui a pu amener sur la terre une énorme croûte de glace, qui l'aurait entièrement couverte : il la trouve dans le milieu résistant qui remplit l'espace, et qui force toutes les planètes à décrire des spirales qui les amèneront avec une excessive lenteur sur le disque même du soleil, où elles se confondront avec cet astre.

M. Renoir admet qu'à l'époque où la chaleur centrale a cessé d'être appréciable à la surface du globe, la terre parcourait alors une orbite plus large que celle où elle se meut maintenant, et que dans cet éloignement du soleil les montagnes se couvrirent d'abord de glaces, puis successivement toutes les parties du globe. Notre planète resta pendant un certain temps dans cet état de désolation, puis les spires qu'elle parcourait la rapprochant successivement du soleil, les glaciers ont fondu, l'eau liquide a sillonné

---

1 Recherches relatives à l'influence que le nombre et la permanence des taches, qui paraissent sur le disque du soleil, peuvent exercer sur les températures terrestres, par M. le prof. Gautier; lues à la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève, le 20 juin 1844. (Bibliothèque univers.; nouv. série, 9.e année, juin 1844, page 327.)

de nouveau les continents, a déposé le diluvium, et maintenant les glaciers se retirent, la terre s'échauffe et s'échauffera continuellement à sa surface, non plus par la chaleur centrale, mais par le feu qui émane du soleil, qui n'est pas encore refroidi. Ainsi un jour viendra où la terre se précipitera vers le soleil, et M. Renoir se demande ce que deviendra l'homme à cette époque.[1]

On voit que ce savant, qui, d'après ses observations dans les Vosges, avait reconnu l'existence d'anciens glaciers limités et rayonnants, a depuis abandonné cette idée et qu'il aime mieux admettre, comme M. Agassiz, l'universalité des glaces pendant toute une période géologique.

Il est possible qu'après un temps infiniment long, la terre finisse par décrire une série immense de spirales et tombe enfin sur le soleil.

Les résultats définitifs de l'attraction sont peut-être de réunir en une seule masse toute la matière de l'univers; nous admettons comme lui la diminution lente de la chaleur solaire qui émane par rayonnement, comme celle des autres corps planétaires; mais ce que nous ne pouvons accueillir, c'est l'échauffement continuel de la terre par son rapprochement incessant du soleil, surtout en admettant le

---

1 Sur la cause probable de l'ancienne existence des glaces générales. Bullet. de la Société géolog. de France; t. II, p. 148.

refroidissement de cet astre. Quand deux causes se neutralisent, il faut d'abord déterminer celle qui l'emporte sur l'autre, et c'est seulement la différence de ces deux causes qui donne la mesure de l'action.

Or, si la terre s'échauffe en se rapprochant du soleil, et si ce dernier perd continuellement de sa chaleur, il faudrait savoir si la diminution de l'incandescence solaire est plus appréciable que le rapprochement de la terre par la contraction de ses spirales.

Depuis longtemps on a des observations astronomiques assez précises, qui datent de plusieurs milliers d'années et qui prouvent que l'orbite terrestre n'a pas varié d'étendue, tandis que c'est à peine si on a des observations thermométriques comparables depuis cinquante ans.

Si les glaciers diminuent, ce n'est pas parce qu'il fait plus chaud, mais parce qu'il tombe moins de neige, parce qu'ils sont moins alimentés. Or l'alimentation ne peut venir que de l'atmosphère, de l'eau qui s'y trouve en dissolution, et l'évaporation ne peut avoir lieu que par la chaleur. Ainsi le refroidissement du globe nécessite le retrait des glaces et ne peut être invoqué comme la cause qui leur a donné leur ancien développement.

Du reste, que résulterait-il d'une couche de glace qui couvrirait toute la terre? Rien, absolument rien, puisqu'en hiver les glaciers sont immobiles et que tout est dans l'inaction. Ce n'est pas la fonte exces-

sivement lente de cette couche de glace qui aurait pu amener les phénomènes diluviens et surtout les phénomènes glaciaires. Il a fallu, pour produire toutes les érosions, créer les alluvions et transporter les blocs, le concours de fréquentes alternatives de gel et de dégel, d'accumulation et de fonte de neige et de glaces pendant de longues années et sous des circonstances telles qu'une partie de l'eau évaporée sur la terre allait se condenser alternativement à chaque pôle et sur le sommet des chaînes de montagnes.

CHAPITRE XXIV.

DES FOSSILES CONSIDÉRÉS DANS LEURS RAPPORTS AVEC LES CAUSES ATMOSPHÉRIQUES.

Nous avons à dessein, dans les chapitres précédents, éliminé presque tous les faits que les fossiles pouvaient produire à l'appui de notre théorie, afin de les réunir en un seul faisceau et d'y chercher la contre-épreuve des opinions que nous avons émises.

La paléontologie est une science de nouvelle création, dont l'importance tend chaque jour à s'accroître, à mesure que de nombreuses observations viennent jeter du jour sur les diverses phases de la vie à la surface du globe. Elle est du plus grand secours à la géologie, mais elle ne doit pas prétendre à une prééminence que quelques personnes voudraient lui accorder.

Chaque fois que dans une observation l'examen des fossiles viendra confirmer la position ou la limite d'un terrain, il y aura pour ainsi dire certitude; mais si les caractères que fournit l'examen géologique et la détermination des fossiles sont opposés, les premiers doivent prévaloir, car l'existence des corps organisés a dû toujours être subordonnée aux condi-

tions diverses qu'amenaient les états successifs de la terre, et dans aucun cas ils n'ont pu déterminer eux-mêmes ces conditions. Les êtres vivants ont dû se conformer aux milieux qui existaient : les accepter tels qu'ils se trouvaient; car, dans le cas contraire, ils n'auraient pu se montrer.

On peut admettre avec M. Boué, « que les forces « créatrices de la nature auraient été les mêmes à toutes « ces époques, mais que les êtres vivants ne pouvaient « apparaître qu'à mesure que les conditions propres à « leur existence se présentaient aussi. Il fallait avant « tout s'adapter aux milieux ambiants. »

Les travaux et les doctrines du célèbre Geoffroy Saint-Hilaire, dont les vues philosophiques avaient une si haute portée, nous conduisent aussi à des changements dans les conditions extérieures dues aux climats.

Nous devons donc examiner d'abord si notre théorie des climats solaires prédominant depuis très-longtemps et s'affaiblissant successivement, s'adaptait aux faits géologiques observés, et voir ensuite si elle n'était pas contraire aux lois générales que l'on a reconnues dans l'apparition successive et la distribution géologique des plantes et des animaux. Cet examen sera en quelque sorte le résumé de ce travail.

Abordons cette étude chronologique, et recherchons en même temps quelle a pu être l'influence des climats sur cette longue série de races anciennement créées et successivement éteintes sur le globe.

Fossiles des terrains anciens.

L'absence de toute espèce de débris d'êtres vivants dans les anciens sédiments cristallisés, la température élevée qui devait régner à cette époque et qui probablement était assez forte pour détruire les tissus organiques, sont deux raisons qui doivent nous indiquer que la vie n'a paru sur la terre qu'à la fin de cette période géologique. Il a certainement fallu un refroidissement assez considérable des eaux pour permettre aux êtres vivants de se développer; tant qu'elles restèrent presque bouillantes, l'absence de l'air atmosphérique, qu'elles ne pouvaient contenir, devait nécessairement s'opposer avec leur température à l'apparition des êtres organisés.

Les premiers débris que l'on rencontre dans les grauwackes prouvent donc qu'à cette époque si ancienne la température de la mer et par conséquent du sol, était inférieure à + 60 centigrades.

Là commence pour nous un des grands mystères de la nature. Comment se sont développés ces êtres nombreux qui ont ensuite parcouru toutes les phases de l'organisation? Les créations, d'abord très-simples, se sont-elles successivement compliquées? toutes les races ont-elles paru à la fois? quelles ont été enfin les circonstances qui ont accompagné l'apparition de tous ces êtres vivants, de forme et d'aspect si différents?

À toutes ces questions nous ne pouvons qu'opposer la toute-puissance de Dieu et admirer la variété et la perfection des moyens qu'il a donnés à tous les êtres pour conserver leur courte existence.

Nos observations nous permettent cependant de remarquer que les êtres organisés se sont succédé lentement sur la terre, à travers des actions locales plus ou moins perturbatrices, qui ont pu les détruire en partie, mais qui vraisemblablement n'ont pas anéanti leur race, ou du moins ne l'ont effacée que si déjà elle était sur le point de disparaître.

Il y a dans la série des êtres, comme dans celle des roches qui contiennent leurs débris, une graduation de passages rarement interrompus, et la plupart des lois que les zoologistes et les botanistes ont cru reconnaître dans l'apparition successive des corps organisés, sont sujettes à plusieurs exceptions et peuvent d'ailleurs être détruites par une seule découverte bien constatée. Nous avons encore si peu de données sur les fossiles; des localités si restreintes ont été étudiées; il nous manque tant de documents sur des contrées éloignées, dont nous ne connaissons pas même les êtres actuellement vivants, qu'il faut se tenir constamment en garde contre les généralisations, qu'on est toujours tenté de signaler.

On avait cru d'abord que les êtres qui avaient été créés les premiers à l'époque des anciens terrains de sédiments étaient d'une organisation plus simple que

ceux qui leur auraient succédé, et l'on arrivait ainsi des mollusques et des zoophytes aux poissons, de ceux-ci aux reptiles, puis aux oiseaux, aux mammifères et à l'homme. Depuis on a reconnu qu'il y avait moins de simplicité et moins de suite dans les créations, et que les êtres de toutes les époques avaient toujours présenté la complication et la perfection nécessaire d'organes pour les milieux qu'ils devaient habiter.

C'est dans les schistes argileux et dans les grauwackes que l'on rencontre les plus anciens débris, et ce ne sont pas, comme nous venons de le dire, des êtres simples et peu compliqués; plusieurs classes s'y montrent à la fois sans qu'on puisse dire quelle est celle qui a précédé les autres; on ignore même encore si les plantes ont existé avant les animaux, et quel est celui des deux règnes qui commence la série organique.

Nous devons supposer que les conditions d'existence étaient alors plus favorables aux êtres destinés à habiter les eaux qu'aux espèces terrestres et fluviatiles, presque inconnues du reste dans les terrains de cette époque; ces dernières, en effet, auraient été continuellement soumises à de grandes actions de transports incompatibles avec leur existence, tandis que les espèces marines, abritées par une masse assez considérable de liquide, pouvaient se développer, au moins pendant des temps assez longs. On trouve une

si grande quantité de restes d'animaux marins appartenant à cette période, qu'il faut bien supposer que c'est au sein des eaux que la vie s'est d'abord développée.

Ce qui frappe le plus, c'est l'apparition presque soudaine, dans les couches de la grauwacke, de plusieurs classes d'animaux très-différents et nombreux en genres et en espèces, démontrant qu'à cette époque si reculée la vie s'était manifestée sous une grande variété de formes.

De nombreux coraux, des radiaires extrêmement élégants, des serpules, un grand développement de conchylifères, la présence d'une infinité de mollusques, auxquels s'associent aussi des crustacés et même des poissons, se montrent ensemble avec des algues, des équisétacées, des lycopodiacées et des fougères, qui préludent déjà à la végétation des houilles.

Ainsi, voilà des plantes et des animaux très-différents, à organisation très-compliquée, qui se montrent en même temps, qui apparaissent tous ensemble dès l'origine des dépôts de sédiment, et qui nous prouvent que la vie se développait avec rapidité sur notre planète, malgré les agents destructeurs, qui entraînaient déjà, pour en former des roches composées, les fragments qu'ils arrachaient aux roches préexistantes.

Nous ne retrouvons maintenant vivantes aucune des nombreuses espèces contenues dans ces anciens

dépôts; mais plusieurs genres ont traversé la série des terrains de sédiment et existent encore dans différentes parties du globe. Telles sont, par exemple, les térébratules.

Les forces organiques avaient alors une puissance extrême ou, ce qui revient au même, les circonstances accessoires qui les développaient étaient tellement favorables que, pour ainsi dire au même instant, la vie se montre sous plusieurs formes entièrement différentes.

On conçoit difficilement la prodigieuse multiplication de quelques-unes de ces espèces. Quand les causes locales ont fait périr de mort violente tous ceux de ces animaux qui existaient à la fois dans une localité, on en trouve des millions réunis. C'est ainsi que dans quelques endroits du pays de Galles, l'*asaphus Buchii* (sorte de trilobite de la classe des crustacés) est si abondant, que les feuillets de schistes en sont couverts en nombre immense.

Un petit nautile forme le centre et quelquefois la masse entière des nodules calcaires, qui constituent certains dépôts dans les Pyrénées. M. Dufrenoy, calculant le nombre que doit en contenir une couche d'un mètre d'épaisseur sur un myriamètre carré d'étendue, a obtenu le chiffre énorme de vingt-sept mille milliards.

Un petit nombre des genres et beaucoup des espèces qui ont vécu à cette époque reculée, se sont éteintes

successivement dans les dépôts supérieurs. Les *producta* sont à peine arrivés jusqu'au zechstein; les *spirifer* se sont élevés jusqu'au lias, et les térébratules sont parvenues jusqu'à nous, tandis que les trilobites ne sont restées que peu de temps sur la terre et sont probablement les premiers animaux dont la race s'est éteinte.

Les crinoïdes ou radiaires, et plusieurs genres de madrépores, ont aussi traversé la longue série des créations pour arriver à notre époque; on remarque même que les genres *astræa* et *caryophyllea*, qui existaient déjà, sont encore ceux qui bâtissent aujourd'hui les îles de corail et les rescifs.

Enfin, la présence des poissons, animaux déjà très-compliqués dans la série, annonce que la matière organique préludait déjà à la création des formes, dont l'apparition devait avoir lieu aussitôt que les milieux ambiants et autres conditions d'existence permettraient leur développement. Toutefois, d'après M. Murchison, les couches siluriennes les plus anciennes, ou ce qui est la même chose, les premières couches fossilifères qui auraient été déposées sur la terre, « ne présentent « jamais aucune trace de poissons ni d'autres vertébrés, au milieu de la multitude de crustacés marins, « de polypiers, de mollusques marins et de crinoïdes « dont elles sont remplies. »[1]

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXI, page 1168.

Peut-être faut-il ajouter à la faune de cette époque des animaux à corps mou, gélatineux, broyés et dissous de suite après leur mort, et dont il n'est resté aucune trace dans les sédiments. Il faut sans doute attribuer à la même cause la plus grande rareté des débris des végétaux. D'un autre côté, les terres émergées étaient peu étendues et ne formaient çà et là que quelques îles sur lesquelles la végétation s'était établie, et nous ne savons pas non plus si l'atmosphère contenait une quantité notable d'acide carbonique, et il est douteux que les plantes puissent végéter sans l'action de ce corps gazeux. Ce qui le prouve, c'est qu'aussitôt que les premiers calcaires se furent déposés sous forme de grandes lentilles, dans la formation de la grauwake, de la houille ou plutôt de l'anthracite se montra dans la partie supérieure du dépôt, et provenait certainement d'un mouvement rapide de cette nouvelle végétation.

Tous les débris organiques que l'on rencontre dans ces anciens terrains de sédiments, appartiennent à des espèces tellement analogues à celles qui vivent maintenant sous la zone équatoriale, que l'on ne peut douter qu'elles aient exigé, pour se développer, une température beaucoup plus élevée que celle qui existe aujourd'hui sous les zones où on les rencontre. Les pôles mêmes près desquels les anciens sédiments contiennent des restes d'animaux intertropicaux, ont participé à cette élévation de la chaleur; et tout démontre sur la

terre, ou du moins dans les régions actuellement glaciales ou tempérées, une égalité de température que nous n'avons plus actuellement.

L'uniformité de la vie aux anciennes périodes géologiques, est un des faits les plus remarquables qui vient pour ainsi dire confirmer encore, si la chose était nécessaire, la théorie de la chaleur centrale; car, si la température élevée du globe à cette époque eût dépendu complétement de la chaleur solaire, qui aurait pu avoir une très-grande intensité, cette chaleur aurait toujours subi vers les pôles des alternatives de refroidissement, et elle eût été brûlante sous l'équateur. Des êtres dissemblables eussent probablement été créés sous ces diverses conditions, tandis que nous voyons, au contraire, la vie organique offrir une sorte d'homogénéité que nous ne pouvons concilier qu'avec une température presque uniforme et des conditions presque égales d'existence.

« Plus on s'enfonce dans les entrailles du globe, dit « M. Boué, plus il existe de ressemblance entre les fos- « siles de pays très-éloignés, situés même dans différentes « zones, et ces similitudes se laissent poursuivre pour « les genres, et même en bonne partie pour les espèces. « D'un autre côté, les observations de ces derniers vingt « ans ont mis en évidence, que dès le principe des êtres « organisés sur le globe, la complication de leurs di- « vers groupes et la multiplicité de leurs espèces, n'ont « point varié des temps anciens à l'époque actuelle,

« autant qu'on l'avait autrefois prétendu ; au contraire, « les végétaux et les animaux ont toujours eu une or-« ganisation aussi parfaite que maintenant, si on prend « en considération la différence des milieux qu'ils ont « habités et de ceux qu'ils habitent aujourd'hui.

« A mesure que l'on descend du pôle vers l'équateur, « les ressemblances des fossiles en genres et en espèces « avec l'organisation propre à la nature tropicale ac-« tuelle, augmente. »[1]

Il est donc impossible de contester l'action d'une température tropicale sensiblement uniforme sur la majeure partie de la terre, à l'époque où les premiers êtres vivants ont paru, et, comme c'étaient, en général, des animaux marins, ils ont dû toujours être moins influencés que les autres par les actions extérieures, s'il en existait alors, et moins sujets par conséquent à la nécessité d'un changement d'habitation d'après les seuls effets d'une modification dans la température.

Cette uniformité dans les formes des espèces vivantes alors distribuées sur toutes les parties de la terre, est-elle entièrement due à la chaleur centrale et indépendante de toute espèce de climats solaires? Nous ne le croyons pas, et si l'homogénéité de l'ensemble des êtres organisés accuse une cause générale dont l'action se fesait sentir sur toute la terre, quelques différences

---

1 Boué, Bulletin de la Société géolog. de France; 2.e série, tome I, page 361.

locales nous font déjà pressentir l'influence des climats solaires apportant leur part proportionnelle d'effets dans le développement de la vie.

Il nous semble, en effet, que dès l'apparition des êtres organisés, les climats pouvaient avoir quelque influence, et nous allons voir successivement ces deux causes de l'élévation de la température agir d'une manière très-différente.

D'abord, la chaleur centrale du globe l'emporte sur l'action solaire, et toutes deux diminuent lentement; la dernière, qui était d'abord la plus faible, finit par devenir prépondérante, parce que, relativement à l'affaiblissement de la chaleur terrestre, elle décroît d'une manière beaucoup plus lente.

Les climats solaires existaient donc, mais sans indépendance, dès l'apparition des premiers êtres vivants, et se sont successivement prononcés.

Nous ne sommes pas le premier à reconnaître qu'il y avait autrefois des climats très-caractérisés. « Si à « l'époque des terrains siluriens et carbonifères, dit « M. Angelot, le flux de la chaleur terrestre était alors « plus puissant, la chaleur solaire modifiait peu les « climats ; si, par suite, ces deux terrains semblent « avoir été formés sur presque toute la surface du globe, « ainsi que nous l'a fait connaître M. de Verneuil, il « n'en a pas été de même dans les âges suivants. Les « formations calcaires des trias s'avancent moins vers « les pôles, celle du lias, moins encore; le terrain cré-

« tacé est beaucoup plus restreint. Les masses immenses « de craie, dues tout entières aux dépouilles d'animaux « à test calcaire, n'apparaissent que dans un espace plus « distant des pôles, plus concentrées vers l'équateur. Les « terrains tertiaires se localisent encore davantage.....; « ce qui prouve singulièrement, à mon avis, l'influence « des climats locaux, et, à plus forte raison, l'existence « des climats de plus en plus prononcés. Aujourd'hui « même cette progression semble avoir continué, et les « animaux, qui produisent la craie en plus grande « abondance, les grands coquillages, les grands poly- « piers, semblent s'être concentrés encore davantage « vers l'équateur. »[1]

Il faut bien que les circonstances climatériques aient eu une certaine action à toutes les époques de la vie, puisque MM. d'Archiac et de Verneuil, en étudiant avec soin la faune des terrains silurien, dévonien et carbonifère, en ont conclu, « que les espèces qui ap- « partiennent à un seul système s'observent rarement « à de grandes distances, et qu'elles constituent alors « des faunes particulières à certaines contrées, d'où il « résulte, que les espèces réellement caractéristiques « d'un système de couche, sont d'autant moins nom- « breux qu'on étudie ce système sur une plus vaste « échelle. »[2]

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XII, p. 108.
2 *Idem;* tome XIII, p. 260.

Si l'on considère le développement de l'organisation dans le sens horizontal, géographiquement ou dans l'espace, on reconnaît « *que les espèces qui se trouvent « à la fois sur un grand nombre de points et dans des « pays très-éloignés les uns des autres, sont presque « toujours celles qui ont vécu pendant la formation de « plusieurs systèmes successifs.*

« On peut en effet concevoir, que les espèces dont « l'organisation était assez forte pour avoir vécu pen- « dant plusieurs périodes successives, devaient être aussi « celles qui, dans le même temps, avaient pu exister et « se propager sous les conditions extérieures les plus « différentes. »[1]

D'après M. Lyell, « on ne trouve nulle part les couches « siluriennes plus développées que dans le nord de « l'Amérique, ni plus chargées de leurs fossiles carac- « téristiques et disposées dans un ordre plus régulier. « Quant aux fossiles, quelques espèces sont identiques; « mais la majorité ne se retrouve pas la même dans « les couches analogues en âge et en position avec celles « de l'Europe. Il y a, il est vrai, une grande analogie « de formes; mais les différences suffisent pour démon- « trer que, dans ces anciennes périodes, il y avait entre « les diverses régions du globe, la même diversité qu'on « observe encore de nos jours. »[2]

---

1 De Verneuil et d'Archiac, Bull. de la Soc. géol. de France; tome XIII, page 260, et nouv. série, tome II, page 483.

2 Lyell, *Travels in North-America*, etc. : Bibliothèque univ., novembre 1845, page 137.

Les belles recherches de M. Forbes sur la profondeur à laquelle vivent les mollusques marins, l'ont conduit à un résultat analogue. Pour connaître avec précision la distribution de ces animaux marins, M. Forbes a fait draguer jusqu'à 438 mètres; il a divisé cette hauteur en huit régions caractérisées par des formes généralement distinctes, mais de profondeur très-différente; la huitième, par exemple, ou la plus inférieure, étant à elle seule plus profonde que les sept autres ensemble, et le nombre des espèces y étant aussi moindre que dans aucune des régions supérieures.

Ce curieux résultat se rapproche de la supposition que nous avons faite, de considérer les temps géologiques comme les termes d'une proportion géométrique, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, en donnant à la dernière période plus de longueur qu'à toutes les autres réunies, quoique les effets produits pendant sa durée soient moins considérables que dans chacune des autres qui l'ont précédée.

Plusieurs des espèces trouvées par M. Forbes, sont communes à plusieurs régions, et se retrouvent aussi dans des mers très-différentes, en sorte qu'il en tire cette conclusion : « *que plus une espèce parcourt de* « *régions verticales*, ou en d'autres termes, *plus elle* « *vit à des profondeurs différentes sur le même littoral,* « *plus aussi elle se propage sur de plus grandes éten-* « *dues en surface.* »

La distribution des espèces dans le sens vertical et

horizontal avait donc été établie, selon MM. de Verneuil et d'Archiac, pour la faune la plus ancienne, avant de l'être pour celle qui vit encore sous nos yeux.

L'étude comparée des plus anciennes couches fossilifères du globe dans les régions voisines des pôles et dans celles qui sont situées sous l'équateur, devra jeter un grand jour sur l'influence des anciens climats.

Le grand développement des terrains siluriens et des terrains de transition en Russie, dans le nord de l'Amérique, leur absence presque complète, ou du moins leur présence à peine constatée sous l'équateur, nous indiquent déjà peut-être des circonstances que nous ne pourrions expliquer qu'en adoptant l'ancienne existence des climats solaires. Les beaux travaux de MM. Murchison, de Verneuil, d'Archiac, de Meyendorf, Keyserling, sur les anciens sédiments de la Russie et de l'Angleterre, ont déjà donné bien de l'intérêt à cette question nouvelle de l'influence des climats solaires.

Terrain carbonifère houiller ; anciens terrains secondaires.

Au-dessus des terrains siluriens viennent se déposer ces assises puissantes du groupe carbonifère, si développées aussi dans tout le nord de l'Europe.

Peu de poissons existaient alors ; mais les coraux y deviennent abondants et variés ; des radiaires s'y dé-

veloppent, de nombreuses espèces de *spirifer*, de *térébratules* et surtout de *productus,* se rencontrent partout avec des *évomphales,* des *bellérophons,* des *orthocératites,* des *nautiles* et quelques *ammonites,* qui essaient leurs formes alors nouvelles pour la terre; des *calymènes* et quelques *trilobites* existent encore.

Tous ces animaux indiquent, à l'époque carbonifère, des mers étendues et une température élevée, qui devait sans doute une partie de son élévation à la chaleur centrale qui agissait encore d'une manière très-sensible.

Une végétation terrestre des plus remarquables couvrait alors les terres émergées, et dénote un climat tropical.

Les plantes dont nous trouvons les débris dans les houillères, et qui sont certainement celles qui ont produit la houille, sont à peu près les mêmes que celles qui existaient déjà dans les terrains inférieurs. Ce sont en général les mêmes genres, dont les espèces deviennent extrêmement nombreuses. La flore de cette époque a été étudiée avec le plus grand soin par M. Adolphe Brongniart, qui a décrit et figuré une grande partie de ses espèces. Alors végétaient des familles distinctes, dont plusieurs, telles que les *calamitées,* les *lépidodendrées,* les *sigillariées,* les *astérophyllées,* n'existent plus aujourd'hui. On n'a encore reconnu dans cette végétation que des cryptogames vasculaires et des dicotylédones gymnospermes, com-

prenant les *cycadées* et les *conifères*. Les autres dicotylédones et les plantes monocotylédonées n'y ont pas été rencontrées, et, très-probablement, n'existaient pas encore à ces anciennes époques.

La présence de quelques rares débris de *palmiers* signalait l'existence des monocotylédones; mais MM. Brongniart, Unger et Gœppert, ont reconnu que le *Noggerathia foliosa* de M. Sternberg, devait être rapporté à une autre famille.

Dans un mémoire du plus grand intérêt, publié récemment par M. Ad. Brongniart, ce savant, basant son opinion sur la forme et la distribution des nervures, rapporte le genre *Noggerathia* aux cycadées.[1]

Plusieurs des grands types de l'organisation végétale paraissent donc à la fois, quoique cependant dans des proportions très-inégales. Ainsi, les *fougères* forment plus de la moitié de cette flore, les *lycopodiacées* un quart; le reste est composé des autres familles.

Ce n'est plus que dans quelques îles situées dans les contrées les plus chaudes du globe que nous retrouvons vivantes une grande quantité de fougères, proportionnellement aux autres végétaux; encore ne sont-elles pas dans la proportion de la flore des houillères.

A Tristan d'Acunha elles sont aux autres plantes

---

1 Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences; t. XXI, page 1398.



comme 2 : 3 ; à Sainte-Hélène, comme 1 : 2; à Otahiti, comme 1 : 4; en France, comme 1 : 60. La végétation des houilles est donc toute tropicale, peut-être même ultra-tropicale, et remarquable par son extrême vigueur et son uniformité.

Cette flore ne se rapproche de la flore générale du globe que par quelques genres de fougères arborescentes; tous les autres genres s'en éloignent beaucoup; ainsi nous n'avons plus ces immenses lycopodes, dont les grandes tiges ne ressemblaient à rien de ce qui existe. Nous ne pouvons nous faire une idée de ces grands calamites qui remplaçaient nos équisétacées, et s'élevaient à 15 ou 18 mètres de hauteur, avec leurs formes bizarres, leurs tiges écailleuses, et cet aspect extraordinaire, dont la végétation équatoriale ne peut même nous rappeler les formes. Toutes ces grandes fougères, aux frondes élégantes et étagées, enlacées par de nombreuses lycopodites, devaient former d'impénétrables forêts, sous lesquelles végétaient encore de petites espèces abritées sous leurs larges feuilles.

La tendance à l'uniformité de cette végétation primitive sur la majeure partie du globe est un des faits les plus curieux de l'époque houillère, et qui se rattache du reste aux mêmes circonstances qui ont amené l'uniformité dans les espèces animales de la même période géologique. M. Jameson a reconnu les grands rapports qui existent entre les plantes des houillères des contrées boréales de l'Amérique avec celles de

l'Europe. M. Robert Brown assure que les fougères fossiles de la Nouvelle-Hollande ne diffèrent que par les espèces de celles du même terrain en Europe. M. A. Brongniart est venu confirmer cette assertion par la description de quelques débris, tant de l'Australie que des Indes [1], en sorte qu'une flore à espèces analogues, et bien moins nombreuse que celle qui existe aujourd'hui, occupait simultanément, ou a occupé successivement, toute la surface du globe, sans offrir ces grands traits distinctifs que présentent maintenant les flores séparées de chaque zone et de chaque continent.

Il faut convenir, cependant, que nous ne connaissons bien que les houillères de notre zone tempérée boréale, et que nous savons très-peu de choses de la présence, du développement et des caractères particuliers que nous offriraient les dépôts charbonneux de la zone torride et des contrées polaires. Déjà M. Brown signale dans ceux de la Nouvelle-Hollande des espèces différentes de celles de l'Europe; on se rappelle que nous avons déjà indiqué dans ce travail, d'après M. Robert, des anomalies dans les houilles du Spitzberg et de la Tasmanie. Il résulte du beau travail que M. A. Brongniart vient de publier sur le *Noggerathia*, que la prétendue identité que l'on avait cru apercevoir dans les espèces des terrains houillers et dans des dépôts

1 Résumé des sciences géolog., par M. Boué; 1833, p. 476.

très-éloignés, n'existe même pas pour chaque localité particulière.

« Chaque couche de houille, dit le savant professeur, « est en effet à nos yeux le produit d'une végétation « spéciale, souvent différente de celle qui l'a précédée « et de celle qui l'a suivie, végétations qui ont donné « naissance aux couches de houilles inférieure et supé- « rieure. Chaque couche résultant ainsi d'une végéta- « tion distincte, est souvent caractérisée par la prédo- « minance de certaines empreintes de plantes, et les « ouvriers mineurs expérimentés distinguent, dans « beaucoup de cas, les diverses couches qu'ils exploi- « tent, par la connaissance pratique qu'ils ont des fos- « siles qui les accompagnent. »[1]

Reste à savoir si, par la suite, on ne viendra pas à reconnaître partout, au milieu de cette espèce d'homogénéité de la végétation carbonifère, des différences locales, qui indiqueront, comme pour les animaux, que déjà à cette époque les climats ajoutaient leur influence à celle qu'exerçait incontestablement la chaleur centrale, et que les houilles polaires, différentes des autres, ont été créées les premières, tandis que le climat équatorial contemporain de ces premiers dépôts s'opposait à de semblables créations, que des conditions nouvelles auront permises plus tard; enfin,

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXI, page 1398.

si les deux zones à température équatoriale, qui, d'après notre théorie, se seraient développées d'abord aux deux pôles, séparées entre elles par une zone à climat beaucoup plus chaud, ne se seraient pas successivement rapprochées au point de se confondre en une seule, qui est la zone torride actuelle.

Des lignes de température de plus en plus abaissées auraient alors parcouru les deux hémisphères, en suivant sensiblement les latitudes, et auraient pu produire des effets semblables à des époques très-distinctes et d'autant plus éloignées que les différences en latitude étaient plus grandes.

L'étude géographique des terrains houillers est destinée à éclairer cette question. Quoi qu'il en soit, il est certain qu'une température à peu près semblable a régné sur les points divers de la terre où les houilles se sont déposées; car on ne peut guère supposer que des plantes de même aspect, de familles et de genres semblables, d'espèces assez souvent identiques et presque toujours analogues, aient pu vivre sous des conditions différentes de température, de lumière et d'humidité. En se basant sur ces considérations et sur la présence des houilles au voisinage du pôle nord, M. Alphonse de Candolle demande comment les mêmes végétaux ont pu vivre sous la lumière intense des régions équinoxiales et pendant les longues nuits polaires. « Que l'on réfléchisse, dit-il, à l'action impor-
« tante de la lumière dans les fonctions respiratoires

« et exhalantes des végétaux, il ne sera guère possible « de supposer que des plantes qui ne perdent pas leurs « feuilles, et qui ouvrent leurs stomates par l'effet du « soleil douze heures sur vingt-quatre, aient pu sup- « porter une obscurité de quelques mois.

« Ou les plantes polaires de l'ancien monde étaient « organisées autrement que nos plantes équatoriales, « ou elles étaient soumises à des conditions physiques « analogues. Sans l'une de ces deux alternatives, elles « n'auraient pas vécu. Il leur serait arrivé ce qui arrive « aujourd'hui quand on expose au froid, à l'obscurité « prolongée ou à une humidité excessive une plante de « nos pays chauds : elle meurt sans se reproduire. Mais « la première alternative est fausse; car l'observation a « démontré l'analogie des anciennes espèces avec nos « plantes équatoriales. Reste donc la seconde alterna- « tive, qu'elles étaient soumises à des conditions ana- « logues de chaleur, de lumière, etc. On ne conteste « pas l'analogie de chaleur des anciennes régions po- « laires avec nos régions équatoriales, parce que le « vulgaire lui-même admet la nécessité d'une certaine « température pour des plantes analogues; mais il ne « faut pas faire le même raisonnement pour la lumière, « qui importe autant aux végétaux que la température.

« Je laisse aux physiciens, continue M. de Candolle, « le soin de faire concorder avec les lois de notre sphère « le phénomène qui me paraît devoir être admis d'une « lumière plus égale jetée autrefois sur les régions

« polaires. Je ne tiens nullement à l'hypothèse d'un « changement d'inclinaison de l'axe terrestre, mais « seulement au fait d'une lumière autrement répartie. « Peut-être trouvera-t-on un jour que le magnétisme « terrestre, une haute température du globe, ont pu « produire jadis une lumière inconnue maintenant; « peut-être découvrira-t-on que les aurores boréales « ont été autrefois beaucoup plus fréquentes et plus « intenses que dans notre époque. Tout cela est hypo- « thèse pour le moment; ce qui me paraît toujours un « fait, c'est que les végétaux fossiles de la baie de Baffin « étaient éclairés autrement que ceux qui vivent de nos « jours dans cette région. »[1]

Cette objection du manque de lumière pour l'ancienne végétation des pôles est extrêmement grave. Nous devons croire cependant que l'axe de la terre n'a pas été dérangé. Nous ne connaissons pas les conditions d'existence que pouvaient exiger les plantes de ces contrées; mais en remontant aux causes actuelles, nous trouvons encore l'explication de ces phénomènes. Beaucoup de plantes vivent dans des lieux très-ombragés, et nos forêts nourrissent un certain nombre de végétaux que le soleil n'atteint jamais. La même chose devait avoir lieu à l'époque de la végétation des houilles, et plusieurs espèces abritées sous les larges feuilles et les cimes impénétrables des grands végétaux,

1 Bibliothèque universelle, avril 1835.

devaient parcourir toutes les phases des leur existence sans être éclairées par un seul rayon du soleil. Nous voyons aujourd'hui les fougères présenter encore ce caractère; nous les voyons tapisser des grottes obscures, descendre jusqu'au fond des puits et végéter sans soleil, quelquefois même sous l'influence d'une faible clarté, quoique pourtant elles conservent la teinte verte et intense de leurs feuilles, et sans qu'elles cessent de décomposer l'acide carbonique dans leurs tissus. Cette observation n'a pas échappé non plus au célèbre P. de Candolle[1]. Il a vu des fougères rester vertes dans des caves où les autres plantes étaient toutes étiolées. L'humidité leur est également favorable. Ce sont peut-être ces conditions d'existence, nuisibles aux autres végétaux, appropriées au contraire à l'organisation des fougères, qui ont permis à cette élégante famille de prendre une telle extension aux dépens des classes qui ont trouvé plus tard leurs conditions d'existence.

On sait d'ailleurs que dans les lieux les plus rapprochés des pôles l'obscurité n'est jamais complète. Pendant le séjour du capitaine Parry à l'île Melville, par 75° de latitude nord, le soleil disparut sous l'horizon le 11 novembre 1819, et ne se montra de nouveau que le 3 février 1820, et à l'époque même de la plus grande déclinaison australe de cet astre, la lumière

---

1 Dictionnaire des sciences naturelles; article: Géographie des plantes, page 371.



crépusculaire était assez sensible à midi pour qu'on pût lire de très-petits caractères.[1]

Peut-être aussi les plantes qui ont formé les houilles dans les régions du nord appartenaient-elles à de grandes espèces herbacées, qui pouvaient, en une saison, parcourir toutes les phases de leur vie, surtout lorsque la longueur des jours et la présence longtemps continuée du soleil sur l'horizon ramenaient périodiquement une activité vitale, qui existe encore aujourd'hui dans tous les lieux que la neige laisse découverts pendant quelques mois.

L'influence des climats solaires a dû nécessairement se faire sentir davantage sur les plantes terrestres que sur tous les êtres vivants qui étaient plongés sous les eaux, et qui rencontraient dans cet élément des conditions sensiblement égales de température malgré les saisons. Les îles devaient aussi participer à cette distribution presque égale de la chaleur, et la végétation évidemment insulaire des plantes houillères est une des causes de son uniformité.

Tout nous porte à croire que, malgré l'existence de climats très-prononcés, la chaleur centrale dominait encore à l'époque carbonifère.

On voit en Europe, dans le terrain permien, la diminution de la chaleur modifier la faune de l'époque antérieure; les polypiers, qui, à l'époque carbonifère,

1 Annales de chimie et de physique; tome XV, page 435.

s'élèvent à plus de 100 espèces, sont, dans le système permien, réduits à 15, dont 3 ou 4 seulement se présentent avec une certaine profusion.

Les crinoïdes, dont près de 75 habitaient les mers carbonifères, n'ont plus qu'un seul représentant, le *cyathocrinites planus*, tandis que les brachyopodes, qui offraient 30 espèces dans le groupe carbonifère, en ont encore 10 dans le terrain permien, comme pour prouver que les grandes révolutions géologiques ne sont pas des causes absolues, qui auraient complétement détruit la vie pour y substituer ensuite une série nouvelle d'êtres organisés. Les *productus* et les *spirifer* se continuent aussi à travers les dépôts permiens, mais les espèces se modifient. Cinq espèces de *térébratules* permiennes sont identiques à celles des terrains plus anciens. Dans ces terrains commence l'apparition des grands sauriens, qui, sans doute, n'avaient pas encore trouvé dans les temps antérieurs de conditions d'existence. « Ce fait remarquable, disent MM. de Verneuil et Murchison[1], que l'on peut placer en parallèle, « pour ainsi dire, avec l'anéantissement des trilobites, « indique l'action incessante de cette loi d'amélioration « et de partielle modification dans le règne animal, « dont les effets sont lents et successifs, et paraissent « être souvent indépendants, particulièrement en

1 Bulletin de la Société géologique de France; nouv. série, tome I, page 489.



« Russie, de ces grandes révolutions physiques qui ont « affecté la surface de notre planète.

« Quelques différences que présentent les plaines « presque horizontales de la Russie avec les contrées « de l'occident, la succession des espèces s'y fait dans « le même ordre. L'étage inférieur du système silurien « y est caractérisé comme dans les autres contrées déjà « connues par l'abondance des *orthis*, des *leptæna*, des « *orthocératites* et des *trilobites*, et l'étage supérieur « par une grande masse de polypiers. Le système dévo- « nien y présente, comme en Écosse, un développe- « ment remarquable de la classe des poissons, et l'on « y voit, comme dans le Devonshire, apparaître les « *productus* et le *spirifer*. La plupart des espèces qui « formaient la population sous-marine pendant ces « deux premières époques s'étant éteintes successive- « ment en Russie, de même que dans nos contrées, « elles sont remplacées par d'autres, parmi lesquelles « se distinguent ces formes innombrables de *productus* « qui, dans tous les pays, caractérisent les roches car- « bonifères. Enfin, les couches permiennes, quoique « déposées sous les eaux d'une mer bien plus étendue « que celle de l'Europe occidentale, offrent cependant « avec elle une concordance remarquable dans l'ap- « parition des sauriens et dans l'extinction complète « des trilobites, goniatites, orthocératites, et des « bellérophons, dont on n'aperçoit plus aucune trace.

« Si, frappé de cette suite d'événements, on porte les

« regards jusque dans l'Amérique du nord, et si on « y aperçoit encore une succession analogue, on sera « convaincu alors que toutes les modifications des « espèces, leur extinction et leur renouvellement, ne « sont pas dus à des changements de courants ou à « d'autres causes plus ou moins locales ou tempo- « raires, mais dépendant de lois plus générales, qui « gouvernent le règne animal tout entier. »[1]

Ainsi l'étude des fossiles des terrains anciens ont conduit ces géologues, ainsi que M. d'Archiac, à reconnaître qu'il n'y a pas de changements brusques, ni complets, dans les animaux qui peuplaient les mers siluriennes, dévoniennes et carbonifères, et que l'on ne peut admettre « que les soulèvements qui, « pendant le dépôt des couches fossilifères, ont changé « le relief du sol de certaines contrées, aient pu occa- « sionner en même temps la destruction complète des « animaux qui vivaient alors dans les mers les plus « éloignées du théâtre de ces bouleversements. »[2]

« M. de Koninck a reconnu que les *productus* rap- « portés par M. E. Robert de la rade de Belt-Sund au « Spitzberg, n'appartiennent à aucune des espèces car- « bonifères connues; qu'au contraire, celui de ces

1 De Verneuil, Murchison et de Keyserling, Géologie de la Russie d'Europe et des montagnes de l'Oural: Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, tome II, page 569.

2 D'Archiac et de Verneuil, Bulletin de la Société géologique de France; tome XIII, page 259.

« *productus,* qui est le plus abondant, possède tous les « caractères du *P. horridus,* Sow., que l'on sait être caractéristique du calcaire magnésien ou du zechstein « en Angleterre et en Allemagne; et enfin, que parmi « ces fossiles se trouvent aussi les *P. cancrini* et *Leplayi,* « Vern., qui caractérisent parfaitement le système per- « mien. M. de Koninck conclut de là que les roches « rapportées par M. Robert au système carbonifère font « au contraire partie du zechstein ou système permien. »[1]

Mais, en adoptant les idées que nous avons émises sur les anciens climats solaires, ne pourrait-on pas regarder ces animaux comme ayant réellement vécu au Spitzberg à l'époque carbonifère et comme n'ayant rencontré que plus tard et à l'époque du zechstein, les conditions de température qui leur conviennent sous une latitude plus basse, et cela ne nous indiquerait-il pas au contraire que le zechstein, sans être contemporain du terrain carbonifère, a pu cependant se déposer sous des conditions analogues, dans des temps et sous des climats différents.

Ces faits nous prouvent qu'à ces époques si anciennes le climat avait déjà une influence très-marquée sur les productions organiques, qui commençaient à se localiser, et si les saisons n'étaient pas encore sensiblement caractérisées par des différences périodiques de température, elles devaient au moins

1 Bulletin de l'Académie de Bruxelles; mai 1846.

être indiquées par les inégalités de lumière, et cette cause pouvait peut-être, sinon changer, sans doute modifier les espèces existantes, car déjà la Russie avait sa faune particulière, comme le prouve le passage suivant des auteurs que nous venons de citer.

« Sur 392 espèces que nous avons observées en « Russie, continuent MM. Murchison et de Verneuil, « 205 ou plus de la moitié sont propres à ce pays; « quelques-unes de ces dernières, il est vrai, diffèrent « si peu des espèces des mêmes dépôts de l'ouest de « l'Europe, qu'on peut les considérer comme en étant « les représentants; cependant il n'en existe pas moins « entre les faunes de ces deux extrémités de l'Europe, « des différences telles qu'on est amené à reconnaître « que, dès cette époque, les espèces n'étaient pas uni- « formément répandues dans toutes les mers, et qu'au « contraire, déjà localisées, elles offraient dans leur « distribution ces divisions géographiques ou ces grou- « pements par bassins qui se sont prononcés de plus « en plus par la suite. »

La longue série pendant laquelle se sont déposées les terrains permiens nous montre le développement des poissons sauroïdes, l'apparition des reptiles et la création de coquilles nouvelles. Les calcaires reparaissent caractérisés par une grande quantité d'*encrine liliiformis*. Les *productus* disparaissent et l'on voit la nature s'essayer encore à de nouvelles formes animales, dont elle avait déjà montré quelques types. Les

bélemnites, les *gryphées*, les *ammonites persillées*, commencent à paraître dans le calcaire coquillier. Les plantes montrent un *mantelia* appartenant à la famille des cycadées.

L'époque très-ancienne des grès bigarrés devait appartenir à une période dont la température était encore très-élevée, mais dépendait peut-être déjà de l'action solaire; ce qu'il y a de certain, c'est qu'à cette époque des animaux appartenant aux hautes classes de la série zoologique avaient apparu sur le globe. C'est dans les grès bigarrés que l'on a découvert dans la vallée du Connecticut, au milieu d'un grand nombre de *gouttes de pluies fossiles*, ces empreintes de pas dont l'origine est restée longtemps douteuse et que l'on attribue maintenant, d'après de récentes découvertes faites dans la Nouvelle-Zélande, à des oiseaux analogues à celui que l'on a nommé *dinormis giganteus*, qui devaient dépasser la taille de l'autruche, puisque M. Owen a calculé qu'il avait 10 pieds de haut et que l'impression de son pied aurait eu 21 ½ pouces de longueur.[1]

Dans ce même grès et à cette même époque, qui semble fabuleuse, appartiennent également ces empreintes trouvées en Allemagne et en Angleterre et qui ont été attribuées à un animal perdu de l'ordre

---

1 Dearn, Bibliothèque universelle de Genève; nouv. série, 10.e année, janvier 1845, page 184.

des batraciens, nommés d'abord *cheirotherium*, puis *labyrintodon* par M. Owen, qui a reconnu l'existence d'une de ces anciennes grenouilles de la grosseur d'un bœuf et peut-être d'un éléphant. Quelle était donc la température ou la cause qui permettait alors l'apparition sur la terre de ces monstres des anciens temps?

Terrains jurassiques.

Toute cette longue série de terrains de sédiment si intéressants par les nombreux débris de corps organisés qu'ils renferment, ne s'est pas succédé jusqu'à l'époque jurassique ou oolitique, sans que de violentes secousses et des soulèvements de chaînes de montagnes ne soient venus jeter pour quelques instants le trouble et la confusion au milieu des actions produites avec une certaine régularité par les causes atmosphériques; mais nous ne pensons pas que ces perturbations locales, quoique souvent très-étendues, aient pu détruire les espèces sur toute la surface du globe; nous croyons qu'un certain nombre a traversé et que, se localisant de plus en plus, elles nous indiquent que la sensation de la chaleur centrale diminuait toujours à la surface de la terre, et qu'elle était remplacée par les climats solaires.

Il sera curieux de rechercher sous ce point de vue les limites polaires et équatoriales des débris de reptiles, de poissons sauroïdes et en général de tous les

fossiles qui semblent caractériser les couches les plus modernes des terrains de trias et d'oolite, et l'on pourra ainsi déterminer l'époque où la chaleur centrale qui, pendant longtemps, a masqué les climats solaires, n'a plus joué qu'un rôle tout à fait secondaire.

Or, comme la première de ces deux influences était générale et devait exercer son action sur toute la terre, elle a dû se manifester par un développement presque uniforme des êtres organisés, et en effet nous remarquons dans la flore, comme dans la faune des terrains anciens, une analogie très-grande, et à mesure que nous approchons des temps modernes, une grande diversité se présente, au point que chaque bassin tertiaire devient en quelque sorte un point qui a sa faune et sa flore particulières. C'est donc au-dessus de l'époque houillère et certainement en un point quelconque de la série des terrains placés entre la houille et la craie inclusivement, que l'action de la chaleur centrale a cessé de se manifester au dehors, à travers les couches du globe, et d'agir sur ses productions. Nous fixerons provisoirement cette époque au commencement des dépôts jurassiques.

Le caractère principal de ce groupe, qui nous rappelle de suite la présence des climats solaires, c'est sa localisation assez restreinte qui contraste avec le grand développement en épaisseur que ces terrains ont acquis sur quelques points de l'Europe. On ne

connaît pour ainsi dire l'oolite que dans cette partie du monde. Elle est assurément confinée dans une certaine zone et déjà très-éloignée des pôles, qui, à cette époque, étaient probablement les points les moins sujets aux violentes secousses de l'intérieur.

Les caractères ordinaires de ces terrains se perdent, même quand ils avancent vers le nord, et il serait peut-être difficile de reconnaître au premier abord la formation jurassique de la Pologne et tout son prolongement nord, si l'étude des fossiles ne ramenait pas à cette considération, quoique cependant ils soient loin d'être tous identiques à ceux des autres dépôts du même groupe.

A en juger par l'épaisseur des couches d'argile, qui forment les anciens deltas de la période jurassique, les fleuves devaient avoir une grande puissance et par suite les pluies devaient être extrêmement fréquentes. L'humidité de l'air, la température redevenue tropicale et par conséquent moins élevée, l'abondance des eaux et peut-être la diminution de la pression atmosphérique, se réunissaient pour offrir dans une certaine zone du globe un concours de circonstances favorables à la création et à la multiplication d'un grand nombre d'espèces animales, et ce fut en effet pendant cette longue période que les formes les plus singulières parurent sur la terre.

Le calcaire que les sources minérales amenaient en si grande abondance, devait contribuer au dévelop-

pement de tous les animaux des classes inférieures qui emploient cette matière dans la construction de leurs coquilles ou de leurs supports, tandis que l'acide carbonique fourni par les bicarbonates de chaux qui s'échappaient des sources, rendait peut-être l'atmosphère peu convenable à la respiration des mammifères et des oiseaux.

On ne peut se faire une idée de la quantité de mollusques et de zoophytes dont les dépouilles sont enfouies dans ces terrains. Des couches entières sont formées de leurs débris; il est bien difficile aussi de se rendre compte de ce nombre immense d'espèces et d'individus appartenant surtout à quelques genres particuliers, tels que les *scyphia*, *astrea*, *cidaris*, *pentacrinites*, *serpula*, *terebratula*, *griphœa*, *belemnites*, *ammonites*, etc. Ces dernières offraient alors toutes les formes imaginables. Les bélemnites se trouvaient aussi en nombre si considérable, que dans certaines localités on les trouve entassées avec une si grande profusion, que l'on se demande si le corps mou de l'animal pouvait trouver place au milieu de ces osselets. On peut supposer que ces animaux voyageaient en nombre au milieu des mers jurassiques, et qu'ils ont péri quelquefois de mort violente par quelque commotion souterraine ou par la présence dans l'eau de gaz ou de matières vénéneuses pour eux.

Avant le lias avaient déjà paru d'énormes poissons se rapprochant des reptiles par leur organisation;

mais c'est dans le groupe qui nous occupe que nous les voyons se multiplier et se diviser en genres assez nombreux, dont il nous reste à peine quelques représentants à notre époque. Cette tendance vers l'organisation des reptiles ne tarda pas à atteindre sa dernière limite, parce que les circonstances accessoires et les milieux ambiants étaient précisément ceux qui devaient favoriser cette création; les genres qui s'étaient montrés dans les dépôts précédents, à l'exception du *monitor*, reparurent à cette époque, ainsi que plusieurs autres nouveaux. Les *ichtyosaurus*, *plesiosaurus*, *pterodactylus*, *lepidosaurus*, *megalosaurus*, *teliosaurus*, *nothosaurus* et un grand nombre d'autres sauriens, dont plusieurs atteignaient jusqu'à 30 mètres de longueur, étaient alors les monstres qui dominaient dans ces mers attiédies et qui habitaient, comme nos crocodiles actuels, la fange des deltas et les rives des grands fleuves.

Ces animaux devaient vivre indistinctement dans les eaux douces ou dans les eaux salées, comme nos crocodiles, mais préférer l'embouchure des fleuves, en sorte que la présence de leurs débris annonce la proximité d'un ancien continent. Quelques géologues croient qu'à cette époque il y avait encore peu de différence entre les eaux salées et les eaux douces; que celles-ci étaient plus ou moins saumâtres, à cause du peu d'étendue des continents et de l'action des marées, qui remontaient très-loin dans l'intérieur des terres.

Ce fût à une époque voisine et peut-être contemporaine de l'apparition des grands reptiles que les premiers mammifères se sont montrés sur la terre: ils appartiennent à l'ordre des marsupiaux. « L'infé« riorité de ceux de ces animaux existant aujourd'hui, « assigne à cette tribu une place intermédiaire entre les « animaux ovipares et vivipares et en fait pour ainsi dire « un anneau qui unit la classe des mammifères à celle « des reptiles ; comme d'ailleurs chez les autres classes « d'animaux, ce sont les formes les plus simples qui se « montrent dans les dépôts géologiques les plus an« ciens; l'analogie nous eût menés à conclure *a priori* « que, parmi les mammifères, ce devaient être les « marsupiaux qui se montreraient les premiers. »[1]

La végétation de cette période géologique est aussi très-remarquable : elle indique, comme les animaux, le climat de l'équateur. Les cycadées et principalement le genre *zamia,* ont acquis un très-grand développement. Ces plantes forment la moitié de la flore de cette époque, et le nombre des espèces fossiles connues est déjà plus grand que celui des espèces vivantes. En se mélangeant à quelques fougères, elles ont formé les houilles de la période oolitique. Il y avait aussi un certain nombre de conifères.

On voit par ces détails qu'une zone très-chaude

1 Owen, dans Buckland : Minéralogie et Géologie, dans ses rapports avec la théol. naturelle; traduction, page 64.

s'étendait encore jusque près des cercles polaires sur chaque hémisphère et que ces deux zones étaient séparées par un climat *ultra-tropical*, tandis que les pôles commençaient à se refroidir alternativement. Les saisons étaient donc périodiquement établies, et c'est sans doute à d'immenses débordements des fleuves, analogues à ceux du Gange, du Nil, du Mississipi, qu'il faut rapporter l'enfouissement de ces nombreux sauriens, dont les descendants ne peuvent pas non plus de nos jours se soustraire aux grandes inondations.

Si les géologues n'ont pas admis jusqu'à présent d'une manière bien nette l'apparition des climats à une époque très-ancienne, il y a cependant des savants qui l'ont pressentie depuis longtemps, sans toutefois s'expliquer sur la cause, que l'on a généralement attribuée au simple refroidissement du globe. En 1828, lorsque le mémoire si remarquable de M. Élie de Beaumont vint appeler l'attention sur les végétaux fossiles de Petit-Cœur en Tarentaise, M. Ad. Brongniart émettait l'opinion suivante :

« L'identité ou l'extrême analogie des végétaux des « terrains houillers, dans tous les points du globe où « on a pu observer ces terrains, conduisent naturelle« ment à penser que le même genre de végétation « existait sur toute la terre à l'époque de la formation « de ces couches de combustible.

« Cette opinion, quoique assez probable, n'est pour-

« tant pas encore hors de doute; car nous n'avons « que des données bien imparfaites sur les végétaux « qui croissaient à cette époque entre les tropiques « et près des pôles; mais en admettant même qu'elle « soit exacte, il ne faudrait pas en conclure que dans des « temps plus modernes la même uniformité a toujours « existé et qu'à l'époque de la formation du lias des « couches oolitiques, de la craie ou des terrains pari- « siens, la végétation était la même sur tous les points « du globe. Peu à peu les différences des climats ont « dû s'établir ou devenir plus tranchées, et des végé- « taux différents ont dû croître sur les diverses zones « de la terre.

« Ainsi nous pouvons présumer qu'à l'époque ou « le lias s'est déposé, la végétation des zones tempérées « que nous habitons n'était pas la même que celle des « régions tropicales, et ces dernières pouvaient encore « produire les mêmes végétaux qui, lors du dépôt des « terrains houillers, couvraient les zones tempérées.

« Il semble donc résulter des observations de M. de « Beaumont et des considérations botaniques que nous « venons de présenter, qu'à l'époque où la formation « du lias se déposait en Europe, notre globe présen- « tait très-probablement deux régions très-diverses « par leur climat et par les végétaux qui y croissaient. « L'une comprenait l'Europe et peut-être toute la zone « tempérée, et était habitée par des végétaux fort diffé- « rents de ceux qui y croissaient à une époque plus

« reculée et qui avaient donné naissance aux couches « de houille; l'autre, s'étendant sans doute sur les « parties plus chaudes du globe, était encore couverte « des mêmes végétaux qui, dans des temps plus an- « ciens, avaient habité la région européenne et formé « les dépôts houillers. Les végétaux de cette partie du « globe, pouvant dans certaines circonstances être « transportés dans les régions plus tempérées, auraient « donné lieu à des anomalies apparentes que présentent « les terrains d'anthracite des Alpes, qui, d'après les « observations géologiques et zoologiques, appartien- « nent à l'époque de formation du lias et dont les « végétaux sont cependant les mêmes que ceux du « terrain houiller. »[1]

On n'a pas indiqué jusqu'ici de terrains jurassiques sous les pôles ni sous l'équateur, ils semblent même manquer en Amérique. Ces grands débris de sauriens n'appartiennent qu'à une certaine zone du globe, et tout nous démontre la présence des climats à cette époque géologique. Des équivalents du terrain jurassique seront très-probablement découverts dans l'hémisphère opposé, et dans les diverses parties de la terre où les circonstances ont été les mêmes par suite de leur position géographique. Déjà quelques-uns des fossiles

---

1 Ad. Brongniart, Observations sur les végétaux fossiles des terrains d'anthracite des Alpes: Ann. des sciences natur.; t. XIV, page 127.

envoyés par M. Domeyko, paraissent, d'après la détermination qu'en a faite M. Bayle, ingénieur des mines, annoncer l'existence du lias dans les Cordillères du Chili.[1]

Terrain de craie.

A la longue période jurassique a succédé celle plus longue peut-être des sables et des sédiments crayeux. Les mêmes actions étaient en jeu; pluies torrentielles et charriage des anciens terrains qui se détruisaient, et précipitation chimique de matières calcaires et siliceuses; développement de nouveaux animaux, et restriction dans l'étendue vers le Nord, caractères qui tous s'accordent mieux avec l'affaiblissement d'un climat solaire qu'avec une diminution lente de la chaleur centrale.

Les polypiers, les radiaires et les mollusques continuèrent de se montrer en abondance dans la formation de la craie; quelques genres nouveaux et beaucoup d'espèces paraissent pour la première fois; mais aussi, c'est dans cette formation que cessèrent parmi un certain nombre de genres, les *gryphées*, les *ammonites*, et surtout les *bélemnites* : on les voit encore dans la craie, mais non au-dessus.

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXI, page 1424.

Les grands reptiles de l'époque précédente disparurent ou devinrent très-rares; on trouve quelques poissons du terrain jurassique et un assez grand nombre de genres appartenant à l'ordre des chondroptérygiens, qui est maintenant le plus nombreux sur la terre. La craie a plus des deux tiers de ses espèces appartenant à des genres qui ont disparu; cependant, dans leur ensemble, les poissons de la craie du nord-ouest de l'Europe rappellent plus fortement, selon M. Boué, le caractère général des poissons tertiaires que celui des espèces du calcaire jurassique. Dans un rapprochement général des formations géologiques d'après les poissons fossiles, il paraîtrait plus naturel d'associer le système crétacé, y compris le grès vert, aux terrains tertiaires, que de le ranger dans le groupe des terrains secondaires.[1]

La végétation de cette époque est très-difficile à définir; on sait qu'il existait des *fucoïdes*, des *fougères*, des *cycadées*, des *conifères*, et probablement beaucoup d'autres espèces; car la flore, comme la faune, devaient devenir d'autant plus variées, que les conditions d'existence se trouvaient plus différentes sur ces diverses parties de la terre.

Le dépôt de la craie a succédé immédiatement aux terrains jurassiques; il n'y a, pour ainsi dire, presque jamais eu d'interruption dans la série des terrains de

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. IX, p. 245.

sédiment, ou du moins ces interruptions ont été locales; car on sait que M. d'Archiac a retrouvé des espèces identiques dans les assises supérieures des calcaires jurassiques et dans les couches inférieures de la craie. Il ne s'est donc pas écoulé une longue période géologique entre ces deux dépôts.[1]

Mais lors même que ces deux groupes de terrains secondaires auraient été nettement séparés par la révolution qui a soulevé les Cévennes, le mont Pilate, la Côte d'or et l'Erzgebirge, comme l'indique M. Élie de Beaumont, il ne s'ensuit pas qu'une telle perturbation ait pu détruire toutes les espèces jurassiques sans qu'elles aient pu parvenir dans la craie. Si une destruction de ce genre pouvait avoir lieu pour des êtres habitant les continents, elle est réellement impossible pour des mollusques ou des radiaires vivant dans la mer et souvent très-éloignés des points où les commotions vinrent changer l'aspect du sol préexistant.

Les grands bassins de craie que l'on connaît maintenant montrent que les localités, et surtout la latitude, exerçaient une action très-uniforme sur les caractères de ces terrains. Les bassins qui étaient séparés ne nourrissaient pas les mêmes animaux, et à latitude égale et à de grandes distances on rencontrait des espèces identiques, formant en quelque sorte le fond de la faune, et des espèces particulières à

1 Boué, Guide du géologue voyageur; tome II, page 267.

chaque localité. Ce fait ressort très-bien des observations de M. d'Orbigny sur le terrain crétacé de la Colombie.

« A cette époque vivaient en Amérique comme en « Europe des *ammonites*, des *angloceras*, etc., de formes « spéciales, et indépendamment de la ressemblance « générale des formes, il se trouvait en Colombie et « dans le bassin parisien assez d'espèces identiques, « pour faire supposer une communication directe entre « la partie européenne et la partie colombienne de la « mer crétacée. On sait que cette mer formait en France « deux grands bassins distincts : le bassin parisien et « le bassin méditerranéen. Il paraît que cette mer cou- « vrait de ses eaux non-seulement une partie consi- « dérable de la Colombie, mais en général une grande « partie des régions situées au nord, à l'ouest et au « sud du continent qui existait alors dans ces parages. « L'identité des fossiles du terrain crétacé avec ceux « du même terrain en Europe, est moins grande pour « le midi du continent américain que pour le nord, « ce qui indique naturellement une communication « moins directe.

« Peut-être pourrait-on en inférer l'existence de quel- « que longue terre, qui aurait continué jusqu'en Amé- « rique la séparation existante en Europe entre le bassin « parisien et le bassin méditerranéen. »[1]

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XVII, n.° 9, 28 août 1843, page 389.

M. Lyell a reconnu en Amérique, dans le New-Jersey, des couches qu'il rapporte à la formation crayeuse. Ces couches forment cinq divisions, dont la plus ancienne consiste en sables et en marnes vertes, et la partie supérieure en un calcaire jaunâtre. D'après les fossiles recueillis dans ces roches, elles semblent toutes appartenir à la craie blanche d'Europe, allant du Gault aux bancs de Mæstricht inclusivement. Sur 60 coquilles, l'auteur en a trouvé 4, soit 7 pour 100, identiques avec les fossiles d'Europe. D'autres sont très-voisines des espèces européennes, et un grand nombre constituent de bons représentants des fossiles européens. Très-peu de formes sont spéciales à l'Amérique. Les foraminifères ou coquilles microscopiques caractéristiques de la craie se retrouvent en grand nombre, et ceci confirme le fait déjà signalé par l'auteur, de la ressemblance générale des formes animales pour les mêmes époques, dans ces temps éloignés, comme on le voit dans l'époque actuelle sous des latitudes analogues. On retrouve seulement la diversité d'espèces, inévitable à des distances si considérables.[1]

La formation de la zone crayeuse indique un climat encore très-chaud, et nous ne serions pas étonné que le dépôt de ces terrains ne se soit opéré d'abord vers les points les plus rapprochés des pôles, en avançant successivement vers l'équateur. Il n'y aurait donc rien

1 Biblioth. univers. de Genève; novembre 1845, page 144.

d'extraordinaire que les deux bassins du nord et du midi de l'Europe, qui sont séparés en France par l'île centrale et sa ceinture jurassique, eussent été soumis à des conditions différentes ou successives, qui en auraient modifié les caractères.

La présence de coraux indique bien une température élevée, mais elle ne prouve pas une chaleur très-intense; car, de nos jours encore, on les voit se propager dans les mers du Nord, où très-probablement le dépôt de la craie ne s'opère plus.

« Une grande quantité de madrépores ou coraux « (environ 7 ou 8 espèces), dit M. Robert, vivent « dans la mer Blanche, avec des *térébratules* adhé« rentes à leur base. Ne peut-on pas voir dans une « semblable association pour ainsi dire la continuation « des dépôts calcaires à polypiers et à productus qui « forment une grande partie du sol de la Russie? « J'ai pu faire le même rapprochement au Spitzberg. »[1]

Il est vrai que les espèces qui construisent aujourd'hui les récifs des mers du Sud ne se développaient pas sous de telles latitudes; mais nous pourrions concevoir que la craie blanche, qui date sous nos climats d'une époque déjà si ancienne, se dépose encore dans les mers équatoriales. Dans une partie du Danemarck, le D.r Beck, de Copenhague, a reconnu la formation de craie contenant un grand nombre de

---

1 Observations géolog. faites en Russie pendant l'année 1839.

fossiles de la classe des zoophytes. Quoique cette craie appartienne bien à l'époque où ce terrain s'est généralement déposé, elle ressemble entièrement à cette craie moderne trouvée par le lieutenant Nelson dans les bancs de coraux des Bermudes. Cette craie récente ne peut, du reste, se distinguer de la craie blanche; elle provient de la décomposition des genres *flustra*, *eschara* et *cellepora*.

Les recherches si intéressantes de M. Ehrenberg, sur les infusoires, nous ont démontré que la craie était presque entièrement composée de débris d'animaux microscopiques, dont il faut ajouter les nombreuses espèces à la liste déjà si longue de débris de cette époque, et qu'une partie de ces infusoires vivaient encore de nos jours.

« Si donc on ne peut plus distinguer les formations « tertiaires des formations secondaires, parce qu'on « trouve dans leurs couches respectives des infusoires « et des polythalames microscopiques, dont l'accumu- « lation produit des masses solides, il est d'un autre « côté possible qu'il se dépose de nos jours au fond « des mers des formations de même genre, qui, si « elles venaient à être soulevées par l'action des feux « souterrains, ressembleraient entièrement à la craie « quant à ses principes constituants. »[1]

---

1 Sommaire des observations faites sur les restes d'animalcules fossiles de la formation de la craie, dont les espèces sont encore vivantes, par Ehrenberg: *Edimb. New Philos. journ.*; avril 1843.

M. Ehrenberg a publié un mémoire dans les Annales de l'académie de Berlin, où il arrive à la conclusion suivante :

« Que les craies et marnes crayeuses méditerra-« néennes sont formées par l'aggrégation d'animaux « microscopiques à test calcaire, et ensuite que les « silex, si abondants dans la craie du nord et man-« quant dans les marnes crayeuses du sud, sont rem-« placés dans celle-ci par les animaux microscopiques « à test siliceux (rétusaires), qui sont au contraire extrêmement rares dans la craie du nord.[1]

L'étude de ces curieux microscopiques, qui ont joué un très-grand rôle dans les diverses formations, a conduit M. Ehrenberg à considérer différents dépôts comme appartenant à des époques différentes de celle où on les avait placés; mais c'est réellement accorder trop d'importance à la paléontologie, et surtout à ce qui regarde les infusoires.

Depuis la houille, où ces animaux ont été reconnus, jusqu'à l'époque actuelle, ils ont pu traverser toutes les périodes sans avoir à souffrir ni des changements des climats, ni des secousses terrestres, ni des grandes actions plutoniques, que nous ne croyons pas suffisantes pour avoir détruit les mollusques et les zoophytes existants, et, à plus forte raison, les infusoires.

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; t. XIV, p. 553.

Plus les êtres vivants des deux règnes se rapprochent de la jonction de la double échelle organique, plus ils peuvent résister aux causes de destruction, quelque actives qu'elles soient. Les curieuses expériences de M. Chatin lui ont démontré que les moisissures et les cryptogames en général survivaient aux poisons qui tuaient les autres végétaux à organisation plus compliquée. Nous avons vu nous-même plusieurs fois pendant des analyses médico-légales, les larves de plusieurs mouches se nourrir de matières animales pénétrées d'arsenic. Il n'y a donc rien d'étonnant que les infusoires aient pu résister, et par leur nombre immense et par l'espèce d'inertie de leur propre existence, à ces causes lentes et progressives dépendant des climats, et à ces actions subites qui sont venues si souvent jeter le désordre au milieu des sédiments et des développements organiques qui en étaient contemporains.

Ainsi, les mêmes espèces qui travaillaient autrefois à la sédimentation de la craie blanche du nord de l'Europe pourraient y exister encore, au milieu de conditions très-différentes, comme aussi elles pourraient être à l'œuvre sous des climats plus chauds, où les circonstances géologiques et organiques qui ont permis le dépôt de la craie se retrouveraient avec leur puissance créatrice sous une zone plus rapprochée de l'équateur.

Au-dessus de la craie les conditions des climats

devenant de plus en plus différentes, les êtres vivants se localisent davantage, et l'on a trouvé jusqu'ici dans une zone assez restreinte un calcaire caractérisé par un certain nombre de *nummulites* et par un assemblage très-curieux de fossiles propres à cette époque, mélangés à la fois d'espèces appartenant aux périodes tertiaire et crétacée.

Ici la question de prééminence entre la géologie et la paléontologie a trouvé un champ de dispute; car le terrain à nummulites, considéré sous le point de vue géologique seulement, appartient à la fin de l'époque secondaire et se trouve immédiatement sur la craie, tandis que ses fossiles en font évidemment un terrain tertiaire inférieur, ce qui, comme on le voit, ne change nullement sa position dans la série.

Deux mémoires récents sont venus jeter un grand jour sur ce terrain : l'un est de M. le professeur Leymerie, l'autre de M. le professeur Léon de la Pilla, de Pise. Le rapport que M. Dufrenoy a été chargé de faire à l'Académie des sciences, sur les travaux de ces deux savants, désigne très-nettement, d'après les observations réunies des auteurs et du rapporteur, la place du terrain nummulitique entre les terrains tertiaires et la craie, en le rapprochant de cette dernière et le considérant, malgré les fossiles tertiaires, comme le dernier étage de la série secondaire.

M. Alexandre Brongniart avait aussi reconnu depuis longtemps, dans son Mémoire sur les terrains

de sédiment supérieur *calcaréo-trappéens* du Vicentin, que les mêmes couches pouvaient contenir à la fois des fossiles des terrains tertiaires et secondaires.

« Les géologues anglais, dit M. Dufrenoy, qui ad-« mettent assez généralement que toutes les formations « géologiques passent de l'une à l'autre par des tran-« sitions insensibles, trouvent dans le calcaire à num-« mulites un terrain intermédiaire qui comble la lacune « que l'on remarque entre les terrains secondaires et « les terrains tertiaires. Nous sommes au contraire con-« vaincu, dit M. Dufrenoy, que les terrains sont des « divisions naturelles distinctes les unes des autres; « chacun d'eux est séparé du terrain qui le précède « par une révolution du globe, qui a suspendu pen-« dant un certain temps les forces sédimentaires; il « est séparé du terrain qui a mis fin à l'époque de « tranquillité dans laquelle il se déposait. Nous croyons, « d'après ces considérations, qu'il faut associer le cal-« caire à nummulites à l'une ou à l'autre de ces deux « formations; cette manière de penser est la consé-« quence la plus immédiate de la théorie des soulève-« ments, qui ne trouve plus maintenant de contra-« dicteurs, et qui donne à la géologie moderne un « caractère de certitude que cette science ne possédait « pas avant cette belle découverte. »[1]

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXI, page 1204.

Il nous semble que l'on peut admettre la théorie des soulèvements sans la conséquence rigoureuse de M. Dufrenoy; car il est clair que la révolution postérieure au terrain à nummulites, qui a mis fin à la série secondaire, a laissé traverser intactes, parmi les 82 espèces déterminées par M. Leymerie, 21 espèces qui sont venues ensuite se développer dans le terrain tertiaire; or, une catastrophe, qui laisse vivre 21 espèces sur 82 dans les mêmes localités, peut aussi avoir laissé continuer les sédimentations au moins dans l'éloignement et peut très-bien ne pas avoir changé tellement les rapports existant entre les mers et les continents, que certains sédiments n'aient pu prolonger leurs dépôts. Nous admettons que le plus souvent les choses se sont passées comme le veut M. Dufrenoy, mais nous croyons aussi que les climats solaires ont eu une action marquée sur la sédimentation par la quantité plus ou moins grande de pluies qu'ils occasionnaient et par la continuité ou la périodicité de ces averses. Nous croyons surtout à leur influence sur la vie et il nous semble que le terrain à nummulites, jusqu'à présent resserré dans la partie méridionale de la zone tempérée, qui s'est montré déjà en Asie et en Afrique, dans des situations analogues, offrant des fossiles qui lui sont particuliers et passant si visiblement à l'époque tertiaire, vient confirmer notre présomption d'une diminution de température dans le climat.

Si à l'époque du dépôt de ces terrains les condi-

tions que présentait la zone où ils se rencontrent n'existaient pas dans des régions plus rapprochées des pôles et peut-être même encore sous l'équateur, ce ne sera pas au feu central que l'on pourra rapporter l'excès de chaleur de cette époque sur les temps actuels.

Lorsque cet agent pouvait manifester au dehors une partie de sa chaleur, il produisait des résultats sensiblement uniformes et sur lesquels la chaleur actuelle du soleil aurait été sans influence, tandis que nous avons déjà reconnu l'action des climats solaires longtemps avant que la chaleur centrale ait cessé d'influencer l'organisation.

Terrains tertiaires.

Si déjà les climats solaires étaient indiqués d'une manière si précise à l'époque des calcaires à nummulites, à plus forte raison devaient-ils imprimer un cachet tout particulier à la période tertiaire où nous arrivons. Alors très-certainement la chaleur centrale ne se fesait plus sentir à la surface; les saisons avaient toute leur indépendance; les pôles étaient alternativement refroidis, en sorte que les formations tertiaires ou terrains de sédiment supérieurs se trouvent restreints dans des limites que dépassent les formations inférieures; elles se développent peu au delà du 50° de latitude.

Des pluies très-abondantes versaient alors sur les

continents d'énormes quantités d'eau, qui se rassemblait en grands fleuves et offrait, sous la zone tempérée, les caractères actuels de la zone torride. Ce fut alors seulement que l'on distingua facilement les dépôts d'eau douce et ceux qui se formaient sous les eaux salées, dans des golfes ou à l'embouchure des fleuves.

Le règne organique acquit pendant cette période des formes tout à fait nouvelles; un grand nombre des anciens types, que nous avons signalés dans les formations antérieures, ne se montrèrent plus dans celle-ci. On vit paraître les oiseaux et les mammifères, vers lesquels tendaient déjà les forces créatrices, quand elles formèrent les plésiosaurus et les ptérodactyles, habitants de l'époque jurassique.

A part les didelphes de la période oolitique, les mammifères les plus anciens appartiennent aux genres *palæotherium*, *anoplotherium*, *anthracotherium*, *lophiodon*, *chæropotamus*, *adapis*, et à une foule de genres nouveaux, inconnus au célèbre Cuvier et découverts par les géologues modernes dans le petit nombre de contrées qui ont été bien étudiées.

Tous ces animaux étaient herbivores, comme le prouve la conformation de leurs dents, et ce n'est que longtemps après que les carnivores sont devenus communs.

Les poissons du terrain tertiaire se rapprochent beaucoup par leurs genres de ceux qui vivent actuel-

lement, mais ils sont différents, et n'est-ce pas une chose admirable de voir depuis les terrains les plus anciens jusqu'à notre époque, ces animaux acquérir successivement quelque développement nouveau dans leur organisation, à mesure qu'ils traversent les terrains, comme ils en acquièrent depuis le commencement de leur vie dans l'œuf jusqu'à leur état adulte et complet, rapprochement curieux que l'on doit encore aux beaux travaux de M. Agassiz.

Quant aux mollusques, il résulte des savantes recherches de M. Deshayes que les espèces actuellement vivantes sont aux fossiles des terrains tertiaires dans les proportions de 3,18 et 52 pour 100, selon les étages de cette grande formation.

Les végétaux de ces terrains nous offrent des formes équatoriales, des *palmiers,* des *cycadées*, des *fougères arborescentes* et des empreintes très-nombreuses de plantes existant encore aujourd'hui, dont les unes appartiennent très-positivement aux pays chauds, et d'autres sont originaires des climats tempérés. On reconnaît par l'inspection des plantes dans les divers étages de ces terrains une diminution lente de la température, qui indique une très-longue durée entre le commencement et la fin des dépôts tertiaires.

Mais le trait le plus saillant de ces derniers terrains, c'est leur localisation, c'est leur absence sous les climats polaires, c'est leur isolement en bassins particuliers, ayant presque chacun leur faune et leur flore

particulières. Ce sont les nombreux contacts de leurs espèces qui tiennent les unes aux autres par un très-grand nombre de points. Ce sont ces types de mammifères qui touchent pour ainsi dire à tous les ordres par un de leurs organes; c'est cette tendance générale à se soumettre à la latitude, aux influences locales, et à arriver, enfin, vers les temps actuels, où la géographie organique, les créations locales ou la dispersion des êtres créés sont devenus pour nous des mystères bien difficiles à dévoiler.

Il résulte des beaux travaux de M. Desnoyers sur les terrains tertiaires :

« Que tous les bassins ne paraissent pas avoir été con-
« temporains, mais successivement formés et remplis;

« Que toutes ces périodes offraient par leurs gise-
« ments et leurs fossiles un passage insensible et pro-
« gressif de l'une à l'autre, de la nature ancienne à la
« nature actuelle, des plus anciens bassins tertiaires
« aux bassins actuels de nos mers. »[1]

Beaucoup d'autres géologues admettent d'ailleurs le passage des animaux d'une série de terrains à une autre et non des créations successives à différentes époques, telle est du moins, nous pensons, l'opinion de MM. Boué, C. Prévot, etc.

---

1 Desnoyers, Sur les dépôts marins plus récents que les terrains tertiaires du bassin de la Seine : Annales des sciences naturelles; tome XVI, page 472.

Non-seulement nous croyons avec tous les géologues à la succession des étages des terrains tertiaires, mais nous pensons que les bassins ou dépôts de chaque étage ne sont pas contemporains et ont été soumis à des influences de latitude, de telle sorte que les dépôts les plus éloignés de l'équateur seraient les plus anciens et que sous la zone torride les conditions tertiaires existeraient encore complétement de nos jours.

Les climats doivent avoir eu la plus grande influence sur ces formations. « Il s'ensuit encore, dit M. de la « Bèche, qu'un même nombre proportionnel d'espèces « fossiles de diverses localités, ayant toujours leurs ana- « logues vivants dans les mers voisines de chaque « localité, ne prouve point une contemporanéité de « formation entre différents dépôts, quoiqu'on ait de- « puis quelques années attaché une grande importance « à des classifications de terrains fondées sur cette cir- « constance; car il faudrait prouver avant tout que « les côtes des Iles britanniques et celles de la Chine « ont été soumises en même temps à des conditions « exactement identiques, ce qui ne paraît nullement « probable. »[1]

Les coquilles fossiles que l'on trouve aujourd'hui ensevelies dans les sédiments anciens des hautes latitudes, sont presque toutes analogues à celles qui

---

1 De la Bèche, L'art d'observer en géologie, trad. par M. de Collegno; page 89.

vivent de nos jours sous des latitudes beaucoup plus basses dans la Méditerranée ou dans les mers intertropicales, et l'on n'y voit pas même en mélange des espèces polaires. Celles-ci paraissent plus modernes que toutes les autres, puisqu'elles n'entrent pas dans les mélanges que l'on rencontre dans les couches mêmes des terrains tertiaires et de même qu'aujourd'hui encore la plupart des espèces qui se présentent à la fois dans les mers tempérées et dans les mers équatoriales, acquièrent plus de développement dans ces dernières localités, de même quand on croit pouvoir rapporter une coquille fossile à une espèce vivante, cette dernière a toujours de moindres dimensions que celle qui est fossile et qui semble par cela même indiquer un climat plus chaud.

Ce qui du reste prouve d'une manière bien évidente le refroidissement graduel du climat, c'est qu'à l'époque tertiaire seulement on voit dans les trois étages les débris fossiles accuser des températures différentes et d'autant plus élevées, que le terrain est plus ancien. « C'est ainsi, comme le fait observer très-judicieuse- « ment M. Lyell, qu'en comparant les fossiles des dé- « pôts tertiaires de Paris et de Londres avec ceux de « Bordeaux, et ceux-ci avec les fossiles des couches « plus modernes de la Sicile, il semble au premier « moment que l'on doive s'attendre à trouver en eux « les indices d'une température d'autant plus élevée, « qu'ils occupent une position plus méridionale. Eh

« bien! c'est précisément le contraire qui a lieu. Parmi « les coquilles soit d'eau douce, soit marines, qui font « partie de ces divers groupes, les unes appartiennent « à des espèces éteintes, et les autres à des espèces « encore vivantes. Celles que l'on a découvertes dans « les dépôts éocènes de Paris et de Londres accusent « un climat plus chaud que celui qu'indiquent les « strates miocènes de Bordeaux, bien que pourtant « Bordeaux soit de 6 ou 7 degrés plus au sud que « Paris et que Londres. Quant aux fossiles de Bor- « deaux, ils offrent aussi la preuve que la mer dans « laquelle ils ont vécu, était plus chaude que celle où « se formèrent les couches coquillères de la Sicile, « quoique cette contrée soit à son tour de 6 ou 7 degrés « plus près de l'équateur que Bordeaux. Dans ces diffé- « rents cas on voit que l'excès d'ancienneté relative de « ces diverses formations (celle de Paris appartenant à « l'époque la plus reculée et celle de la Sicile à la pé- « riode la plus moderne) fait plus que compenser l'in- « fluence de la latitude, et par suite on se trouve amené « à reconnaître qu'un pareil phénomène ne peut être que « l'effet d'un refroidissement graduel dans le climat. »

M. Lyell admet, comme on le voit, de la manière la plus formelle, la diminution graduelle de température, mais très-lentement, sans secousse et par un abaissement insensible.

L'élévation de la température de nos contrées à l'époque tertiaire est un fait parfaitement déterminé

par les débris fossiles de plantes, de mammifères, de poissons, de reptiles et surtout de coquilles que l'on y rencontre, mais la présence des restes d'insectes indique peut-être d'une manière plus précise encore que cette température élevée appartenait bien à l'atmosphère et ne pouvait provenir de la chaleur centrale. Or, les espèces que l'on trouve à Aix sont presque toutes équatoriales, et ce fait a été mis tout à fait hors de doute par la découverte extrêmement curieuse d'un lépidoptère qui gisait dans les plâtrières et que M. Boisduval reconnut très-distinctement pour appartenir au genre *cyllo*, dont les espèces peu nombreuses habitent toutes l'archipel Indien. Ainsi, à cette époque de la période tertiaire, le climat du midi de la France était celui des contrées les plus chaudes de l'Asie.

Si tel était alors le climat des zones tempérées, celui des tropiques devait avoir une température proportionnellement plus élevée, présomption qui sera peut-être un jour confirmée, quand on connaîtra un plus grand nombre de faunes et de flores locales, situées sous des latitudes très-différentes et accompagnées de caractères géologiques identiques.

« Quant à la *distribution des restes organiques*, dit « M. Boué, dans les couches de la croûte terrestre, « il est remarquable de trouver, dans les dépôts ter-« tiaires récents, entre les tropiques, des fossiles « d'espèces non identiques avec les animaux ou les « plantes existant actuellement dans les régions de cette

« zone, quoique son climat se rapproche le plus de « celui des âges primordiaux. Ce fait nous indique un « changement climatérique total, même aux environs « de l'équateur; donc il a dû exister jadis des climats « *ultra-tropicaux,* au moins dans ces dernières parties « du globe. Ainsi M. Seale a découvert, dans l'île vol- « canique de Sainte-Hélène, un pleurotome fossile « d'espèce inconnue, même sur les rivages les plus « voisins, ce qui prouve bien une modification géné- « rale climatérique entre cette époque climatérique « moderne et la nôtre. »[1]

Ce fait, quoique isolé, a une grande valeur en faveur de la théorie des climats solaires, dont une des conséquences serait le dépôt successif des terrains qui présenteraient les mêmes caractères minéralogiques et les mêmes fossiles qui, par conséquent, feraient partie d'un même groupe, comme, par exemple, les terrains tertiaires, et qui, cependant, dateraient d'époques très-différentes. Ainsi, si une température plus élevée, et supposée équivalente à la température équatoriale actuelle, a régné vers les régions du Nord et les a successivement et très-lentement abandonnées, parce que la source de cette chaleur tarissait elle-même, il est bien évident, que les résultats climatériques qui en ont été la conséquence, se sont manifestés à des époques

---

1 Boué, Bulletin de la Société géolog. de France; 2.e série, tome I, page 361.

très-différentes, et des dépôts qui, dans les régions extrêmes auraient présenté des fossiles équatoriaux, sinon identiques, au moins analogues, et qui, pour cette raison, auraient été classés dans les terrains tertiaires, peuvent se produire de nos jours sous les tropiques et sur une échelle tout aussi grande.

M. Élie de Beaumont fait remarquer que, dans les époques anciennes, « les fossiles étaient bien plus res« semblants, soit entre eux, soit dans les pays différents. « Or, ceci prouve que la température de la mer était « beaucoup plus uniforme qu'aujourd'hui, tant en « profondeur qu'en allant de l'équateur aux pôles.

« Aujourd'hui la température, à la surface de la mer « à l'équateur, est de 27° ½, tandis qu'au fond elle est « de 2° : il n'y aurait aucune raison de croire à ces « différences autrefois. La température du fond de la « Méditerranée est de 13°, ce qui est la température « des hivers de cette mer. Dans les temps anciens, où « il n'y avait pas de glaces polaires, le fond de la mer « de l'équateur devait être dans un état analogue, ce « qui devait conduire à une répartition bien plus uni« forme des espèces.

« La très-grande masse de la mer équatoriale est à « une température très-basse, et seulement d'un très« petit nombre de degrés au-dessus de 0. »[1]

Il est certain, qu'à l'époque tertiaire, avant les glaces

1 Élie de Beaumont, Bulletin de la Société géol. de France; 2.e série, tome II, page 487.

polaires, la température des mers pouvait être différente de ce qu'elle est aujourd'hui ; mais nous ne pensons pas qu'à cette époque l'élévation de température de l'eau puisse être attribuée à la chaleur centrale, mais plutôt à l'action solaire plus intense qu'aujourd'hui : l'échauffement de la surface n'empêchait donc pas les parties inférieures d'avoir à peu près la même température que de nos jours, et la zone qui convenait à telle ou telle espèce encore existante aujourd'hui, devait seulement être un peu plus abaissée pour obtenir la température qui lui était nécessaire. Tout s'explique facilement, en appliquant la chaleur à la surface extérieure, et non au-dessous. Il est très-vrai qu'à l'époque, que l'on peut appeler glaciaire, parce qu'en effet les glaciers ont atteint alors leur maximum de puissance, les deux pôles versaient successivement dans les eaux d'énormes masses de glaces qui les refroidissaient considérablement ; car ces glaces, enfoncées au $\frac{9}{10}$ dans l'eau, pouvaient flotter longtemps et approcher de l'équateur.

Il a pu y avoir à cette époque un refroidissement très-étendu géographiquement, uniquement dû à la grande quantité de neige qui tombait chaque année aux deux pôles et aux courants glacés qui en découlaient, et l'on ne peut nier que cette cause réfrigérante partielle n'ait eu lieu pendant la période tertiaire et qu'elle ne se soit prolongée jusqu'à l'époque actuelle.

L'étude des fossiles, et la grande analogie que l'on

observe entre les faunes de contrées très-éloignées, mais placées sensiblement sous les mêmes latitudes, comme, par exemple, le nord de l'Europe et de l'Amérique, la Russie et une partie des États-Unis, nous démontre de la manière la plus claire toute l'influence de la latitude. Si, contre toutes les observations bien faites on voulait encore prétendre que l'axe de la terre a été dérangé, non pas quatorze fois, comme le veut M. de Boucheporn, mais une seule fois, il est certain, que ces grands cercles qui forment les latitudes actuelles, ne correspondraient plus aux pôles actuels, mais à d'autres centres, qui feraient nécessairement qu'une portion de ces centres de latitude se trouverait plus au Nord et l'autre beaucoup plus rapprochée du nouvel équateur. Les saisons y eussent été aussi très-différentes. Mais la faune fossile nous démontre l'impossibilité d'un tel changement; car elle se compose comme la faune actuelle, de zones concentriques, ayant le pôle actuel pour centre. Cette faune nous prouve que, depuis une époque très-reculée, l'influence du climat s'est fait sentir. Elle nous démontre bien, qu'une température plus élevée que la nôtre, régnait autrefois; mais il est bien difficile d'admettre que la chaleur centrale était la cause de cette élévation de température; car, dans ce cas, les productions animales, au lieu de se localiser, auraient dû conserver ce caractère de généralité qui distingue les faunes des terrains les plus anciens.

La distribution géographique des fossiles, au contraire, s'accorde parfaitement avec une décroissance séculaire de température extérieure, c'est-à-dire, avec un refroidissement, tel que celui qui aurait eu lieu, si le soleil autrefois plus chaud, plus incandescent, avait successivement perdu d'une manière insensible une partie de sa température pour arriver à celle qu'il possède actuellement.

Terrains de transport.

La période que l'on peut appeler *palæothérienne*, et qui appartient évidemment aux terrains tertiaires moyens, a été suivie de plusieurs terrains de transport, qui se lient à l'époque actuelle, et pendant le dépôt desquels de nouvelles races d'animaux ont vécu. Les fossiles et surtout les débris de mammifères que l'on rencontre dans les couches alluviales, annoncent presque tous un transport violent; car sans cela les squelettes seraient souvent entiers, et l'on sait que généralement les os sont séparés et même usés. Ce n'est que dans les dépôts qui se sont formés dans les lacs et les bassins que les débris organiques se sont conservés, et encore y sont-ils presque toujours mutilés par un transport violent.

C'est aussi principalement dans les couches qui forment le bord des mers antédiluviennes et des an-

ciens lacs que la plupart des dépôts se sont formés, et non dans leur milieu.

On a trouvé cependant, comme nous le verrons tout à l'heure, non-seulement des squelettes, mais des animaux entiers et conservés, appartenant à l'alluvion ancienne.

Ce qui caractérise surtout cette longue période, c'est le grand développement de certains pachydermes, tels que des *rhinocéros* et surtout des *mastodontes* (*elephas primigenius*), et leur présence dans les régions polaires, où, selon toute apparence, ils ne pourraient plus vivre aujourd'hui, si leurs races s'étaient conservées sur la terre.

Ce sont principalement les rivières qui descendent vers la mer Glaciale qui mettent à découvert le plus d'ossements de mammouths, parce que, coulant au milieu des vastes plaines sablonneuses ou limoneuses de la Sibérie, elles s'enflent considérablement à l'époque du dégel, et entraînent facilement des portions de leurs rives, qui, dans les déchirements que cause la crue des eaux, emportent ces nombreux ossements. Du reste, ces débris sont si nombreux que, si l'on creuse un puits dans les plaines basses de la Sibérie, on les trouve en abondance à diverses profondeurs.

Il est un fait certain, c'est que ces animaux ont habité la terre pendant très-longtemps, et que des espèces, très-probablement distinctes, se sont succédé depuis l'époque palœothérienne jusqu'aux temps

actuels où ils sont représentés, sous les tropiques seulement, par des pachydermes analogues, mais très-différents. On sait, à n'en pas douter, que les *mastodontes* et les *palæotherium,* leurs prédécesseurs, se sont cependant rencontrés à la fois sur le globe, et vraisemblablement à l'époque des terrains tertiaires supérieurs, lorsque les premiers commençaient à paraître et que les autres conservaient encore quelques individus d'une race qui disparaissait lentement et dont les temps étaient accomplis. Il y a un mélange des débris de *mastodontes* et de *palæotherium* dans les faluns de la Touraine, dans le bassin de la Loire.

« Il est probable, dit M. de la Bèche, qu'il se pas-
« sera encore beaucoup de temps avant qu'on puisse
« déterminer si tous ces dépôts, si variés, auxquels on
« a ajouté le *crag* d'Angleterre, et qui ont été rapportés
« à une même époque, doivent être considérés réelle-
« ment comme contemporains; mais, quel que soit le
« résultat de cette recherche, les faits recueillis jus-
« qu'ici sont importants, en ce qu'ils tendent à prouver
« que les *mastodontes,* les *rhinocéros* et les *hippopotames*
« existaient comme genre à une même époque avec les
« *lophiodon* et les *palæotherium,* et qu'ils habitaient
« certaines parties de l'Europe, pendant que la mer
« nourrissait des mollusques semblables ou analogues
« à quelques-uns de ceux qui vivent aujourd'hui. »[1]

---

1 De la Bèche, Manuel de géologie; page 263.

D'un autre côté, M. Lyell a trouvé les ossements de ces animaux dans des conditions qui lui font supposer qu'ils sont arrivés jusqu'à la limite de l'époque contemporaine ou historique. Ce savant géologue regarde le dépôt des ossements fossiles de Bigbone-lick « comme « postérieur au terrain de transport, qui manque dans « ce district. Cette date est donc, géologiquement, fort « moderne; mais il peut pourtant s'être écoulé plusieurs « milliers d'années depuis que les mastodontes et les « autres espèces se sont perdus. »[1]

« Dans l'État de New-York, près de la chute du « Niagara, on a trouvé, à 12 pieds de profondeur, des « os de mastodonte dans une formation d'eau douce, « dont les coquilles habitent encore cette localité. Le « point le plus élevé où ces ossements se soient trouvés « dans l'Amérique du nord, est à Honsdale, dans l'État « de New-York, où ils atteignent 1500 pieds anglais « au-dessus du niveau de la mer.

« Il faut conclure de ces diverses recherches que ces « grands pachydermes, dont les analogues ne se re- « trouvent plus vivants, ont existé en Amérique depuis « l'époque du dépôt du terrain de transport venant « du Nord. Ce ne peut donc être au refroidissement « que l'on suppose avoir accompagné et suivi ce trans-

---

1 Lyell, Sur la position géologique des ossements fossiles du mastodonte, etc.; lu à la Société géolog. de Londres. (Biblioth. univers.; nouv. série, 10.ᵉ année, avril 1845, page 395.

« port, qu'il faut attribuer, comme le font quelques « géologues, la destruction de ces gigantesques ani- « maux. »[1]

Puisque l'on a trouvé presque partout dans les terrains de transport des ossements de *mastodontes*, de *rhinocéros* et de quelques autres animaux gigantesques de l'époque diluvienne, ces êtres ont donc habité à peu près toutes les latitudes et les deux continents; mais leur conservation au milieu des glaces de la Sibérie, est un des faits qui a le plus attiré l'attention des géologues, et qui a donné une célébrité justement acquise à ces débris de l'ancien monde.

Plusieurs corps de ces mammouths ont été découverts revêtus encore de leur peau et de leur chair. Isbrand-ides cite une tête dont la chair était corrompue et un pied gelé, gros comme le corps d'un homme de moyenne taille; Jean-Bernard Muller, une défense dont la cavité était remplie d'une matière qui ressemblait à du sang caillé. Ces faits sont d'autant plus croyables qu'ils rentrent dans la classe de la découverte du rhinocéros des bords du Wilhoui; mais ce qui leur donne beaucoup de vraisemblance, ce sont deux exemples du plus haut degré d'authenticité. Le premier est la découverte, attestée par le voyageur Sarytscheff, d'un mammouth, dont le corps, presque entier, et revêtu de sa chair, de sa peau et de longs

---

1 Lyell, Ouvrage cité, page 396.

poils, fut trouvé dans une position verticale sur le bord de l'Alascia, rivière qui se jette dans la mer glaciale, au delà de l'Indigirska.

Le second est la découverte plus importante encore d'un mammouth entier, observé par M. Adams, de l'académie de Pétersbourg, sur les bords de la mer glaciale, et dont les restes ont été déposés au musée impérial de cette ville. Nous rapportons cette relation, quoique bien connue de tous les géologues. Elle fut publiée dans le Journal du nord, en octobre 1807, et en 1815 dans les Mémoires de l'académie de Pétersbourg.

Il résulte qu'en 1799 un pêcheur tongouse aperçut près de l'embouchure de la Léna une masse informe recouverte de glace; que l'année suivante il vit que cette masse était un peu moins engagée dans les glaçons, mais que pendant l'été de 1801 il reconnut les flancs charnus et les défenses d'un grand animal que la fonte des glaces avait mis en partie à découvert; enfin, en 1804, les chaleurs ayant été plus grandes et les glaces ayant fondu plus vite, cette masse vint échouer sur la côte. Le pêcheur enleva les défenses et les vendit; mais M. Adams, qui voyageait alors dans la Russie asiatique, instruit de cette découverte, se rendit sur les lieux en 1806. Il y trouva l'animal fort mutilé; quelques lakoutes l'avaient en grande partie dépecé, pour en donner la chair à leurs chiens; les loups et les ours en avaient dévoré le reste; mais

à l'exception d'un pied de devant le squelette était resté intact. La tête, couverte d'une peau sèche, pouvait donner une idée de celle qui recouvrait le corps, et dont quelques lambeaux se voyaient, ainsi que plusieurs ligaments, sur des parties peu charnues assez bien conservées. M. Adams remarqua sur une des oreilles restées entières une touffe de crins; il distingua même la prunelle de l'œil et, de plus, il retrouva dans le crâne la cervelle desséchée; le cou était garni d'une longue crinière, et quelques portions de peau, couvertes de crins noirs et d'une laine rougeâtre, lui prouvèrent que ce mammouth en était entièrement revêtu. En effet, la masse de poils que les chiens et les autres animaux avait laissée en dévorant les chairs, pesait plus de 30 livres. Cet animal était mâle. Ses défenses, que M. Adams retrouva et racheta à Iakusk, étaient longues d'environ 12 pieds, en suivant leur courbure; une seule pesait 280 livres; sa tête, sans les défenses, ne pesait plus que 400. M. Adams observe que l'animal devait avoir une queue très-courte et épaisse; la peau est d'un gris foncé; elle ne diffère de celle des éléphants des Indes que parce qu'on n'y distingue pas les points bruns que l'on remarqne dans la peau de ces derniers. Les poils dont il était couvert sont de trois sortes; les plus longs, qui ressemblent à des crins, ont 12 ou 15 pouces: leur couleur est brune; d'autres n'ont que 9 à 10 pouces, ils sont plus minces et de couleur fauve;

enfin, une laine de 4 à 5 pouces de longueur, mais fine et douce, de couleur fauve clair, garnissait la racine des autres. Tout annonce donc dans le mammouth un animal destiné à vivre dans une contrée froide avec le rhinocéros de la même espèce que celui de Wilhoui. Ce qui doit encore faire suppposer que ces animaux pouvaient alors vivre dans le Nord, c'est que de nos jours des tigres entièrement semblables à ceux des Grandes-Indes se montrent encore de temps en temps en Sibérie, où l'on en a tué plusieurs d'une taille énorme.[1]

L'existence aujourd'hui bien constatée du *felis irbis*, ou panthère à long poil, dans le nord de la Sibérie, près des lieux mêmes où se trouvent en si grande quantité les débris des mastodontes velus, est encore un fait qui doit nous faire supposer que ces anciens pachydermes ont vécu sur les lieux mêmes et pouvaient résister à la rigueur des hivers.

On a objecté à ceux qui considèrent les mastodontes comme ayant vécu dans le nord, qu'il était impossible qu'ils pussent y trouver leur nourriture, et que la présence du tigre dans les régions boréales ne prouvait rien, puisque cet animal était carnivore. Mais la présence des carnivores dans une localité quelconque implique nécessairement celle des herbivores, et il est de toute impossibilité d'admettre que les mastodontes

---

1 De Humboldt, Fragments asiatiques; tome XI, page 388.

ont vécu très-loin des lieux où ils gisent aujourd'hui.

M. de Verneuil dit que « dans l'Oural les vallées à « ossements ne renferment d'autres débris de roches « que ceux de la localité, et que si des courants avaient « amené ces animaux gigantesques, ils auraient cer- « tainement entraîné une masse de débris appartenant « aux régions parcourues. D'ailleurs, ces ossements « existent dans des vallées fermées, et la seule inspec- « tion des lieux suffit pour montrer l'impossibilité des « courants qui les y auraient transportés.[1]

M. de Tchiattcheff cite également dans l'intérieur de la Sibérie des vallées contenant beaucoup de ces fossiles, entièrement isolées.

M. Robert ne partage pas complétement cette opinion. Ses observations dans le nord de la Russie lui ont démontré que les ossements des mammouths sont bien plus abondants sur le bord des fleuves que partout ailleurs. Ils sont principalement accumulés près de leur embouchure, et M. Robert, remarquant que le nord de la Russie et de la Sibérie est pendant six mois de l'année un admirable climat, une terre couverte de la plus riche végétation, et où la température s'élève beaucoup en été, remarquant que ces vastes contrées touchent celles où les éléphants vivent encore de nos jours, suppose que les mammouths, autrefois

1 Bulletin de la Société géologique de France; nouv. série, tome I, page 648.

très-communs en Asie avant que la civilisation n'y soit établie, ont pu émigrer en grandes bandes pendant l'été sur les lieux d'où leurs cadavres ont été entraînés quand ils ont été surpris par l'hiver. On sait, en effet, combien sont brusques les passages de l'été à l'hiver, et réciproquement, vers le nord, comme à l'équateur le passage subit du jour à la nuit, et le retour des ténèbres à la clarté.

« Quelques-uns d'entre eux, dit M. Robert, dont les « cadavres ont pu résister à la décomposition, en vertu « de leur peau épaisse et gonflée en outre par des gaz « qui ont facilité leur charriage, seraient descendus « jusque dans les deltas glacés des mêmes fleuves où « on les observe aujourd'hui.

« Au reste, la cause qui a fait périr les mammouths « ou éléphants russes, a dû agir du sud au nord; car « leurs débris paraissent d'autant mieux conservés et « plus complets qu'on s'approche davantage de l'em« bouchure des rivières. N'est-ce pas ce qui devait « arriver à des cadavres d'animaux charriés dans cette « direction, soit par des cours d'eau, tels que les « larges et paisibles fleuves de la Russie, soit par « un grand cataclysme, qui se serait épanché sur une « surface aussi unie que celle de ce vaste empire? »[1]

M. Lyell, sans faire émigrer les mammouths des

---

1 Observations géologiques faites en Russie en 1839 : Bulletin de la Société géologique de France; tome II, page 318.

climats lointains, fait remarquer que tous les grands fleuves du nord de l'Asie ont une même direction du sud au nord, et que les corps flottants de ces grands animaux ont pu descendre rapidement vers de hautes latitudes, et rester emprisonnés dans les glaces.

Quant à nous, nous ne pouvons voir dans ces mammouths, aux formes équatoriales et aux gisements polaires, que des animaux qui ont vécu sur les lieux mêmes, ou à une distance peu considérable des localités où ils sont aujourd'hui ensevelis.

Dès lors il faut admettre à cette époque une élévation de température dans le nord de l'Europe et de la Sibérie, où l'on trouve en plus grande quantité les débris de mammouths, bien qu'il en existe aussi dans le nord de l'Amérique, en France, en Angleterre.

Il est déjà parfaitement établi par les coquilles fossiles que les régions polaires n'ont pas toujours été glacées. Mais si l'on fait attention à la position des ossements de ces grands pachydermes, qui, dans certaines circonstances, se sont trouvés associés à des coquilles encore vivantes aujourd'hui; si l'on remarque qu'ils se montrent au-dessus des terrains tertiaires, ou du moins dans les couches supérieures de ces terrains, qui se confondent insensiblement avec ces vastes transports que l'on désigne sous le nom d'alluvions anciennes, on sera forcé de convenir aussi que ces espèces ont pu vivre sous un climat qui était loin d'être aussi chaud que celui de la zone torride.

Cette supposition devient extrêmement vraisemblable si l'on fait attention que de nos jours encore les grands pachydermes s'avancent très-loin vers les pôles des deux côtés de l'équateur, et qu'ils dépassent même les lignes tropicales. Rien n'indique ensuite qu'ils ne puissent pas supporter un certain degré de froid, et d'ailleurs les espèces fossiles ne sont pas les mêmes que les espèces vivantes, et, de même qu'il existe aujourd'hui un ours des pôles et des espèces de la zone torride, il a pu exister un éléphant conformé pour vivre sous de hautes latitudes, et par conséquent des rhinocéros, des hippopotames, et d'autres animaux dont les espèces différentes préfèrent aujourd'hui les pays plus chauds.

Une des principales objections qui ont été faites à cette manière de voir, qui est adoptée par plusieurs naturalistes, c'est que ces animaux n'auraient pu trouver sous les pôles ou dans leur voisinage une nourriture suffisante pour traverser les longs hivers de ces régions; mais qui sait si à ces époques lointaines une végétation estivale ne laissait pas pour l'hiver de nombreuses tiges demi-ligneuses de végétaux qui auraient disparu avec les races qu'ils étaient destinés à alimenter?

Qui peut nous dire si les arbres verts, si communs dans le nord, n'étaient pas en cette saison les aliments de ces animaux?

Cette supposition vient d'ailleurs d'être confirmée

par M. Brandt; il a réussi à retirer des cavités des dents molaires du rhinocéros de Wilni une petite quantité de matière alimentaire mâchée : il y a reconnu des fragments de feuilles d'un pin, la moitié d'un fruit d'une polygonée, et de petits débris d'un bois à cellules poreuses.[1]

Le renne se nourrit encore sous ces affreux climats de lichens et de jeunes pousses de végétaux. Les cerfs et les chevreuils, les daims à l'état sauvage ne meurent pas de faim pendant nos hivers.

Une seule observation de M. Adams, la découverte de cette longue laine provenant d'un mammouth conservé dans la glace, suffirait pour indiquer que cet animal était destiné, au moins temporairement, à habiter des climats froids. Cette espèce de laine, qu'il a décrite, ressemble bien à ces fourrures d'hiver que nous voyons prendre chaque année à un grand nombre d'animaux, et cette circonstance doit nous faire supposer que les mastodontes n'émigraient pas comme les bœufs musqués, qui habitent à peu près les mêmes régions, et ces nombreux lemmings, qui, dès le mois de septembre, abandonnent la Laponie et se dirigent au sud, en laissant des milliers de cadavres sur les bords de tous les cours d'eau.

La présence du tigre du Bengale dépassant le 45.e degré nord, atteignant même la Sibérie; la rencontre

1 Archives des sciences physiques et natur.; 1846, p. 420.

du jaguar à peu près à la même latitude sud, nous démontrent que les animaux des tropiques peuvent parfois s'en éloigner beaucoup, et doivent nous faire considérer les anciens pachydermes comme ayant dû habiter les lieux mêmes où nous les trouvons fossiles.

On a bien reconnu, en général, que le climat des pôles s'était refroidi, et ceux qui ont admis que le mammouth avait besoin, pour vivre, du climat des tropiques, comme ceux qui ont supposé qu'il pouvait se contenter d'une température moyenne, ont toujours trouvé une très-grave objection dans la découverte de cet ancien rhinocéros que Pallas rencontra en 1772 à Wiljuiskoi, au 64.e degré de latitude, sur le bord de la Wiljui, et dont la chair tenant aux os était encore fétide; et de ce mammouth, rencontré en 1806, par Adams, dans une masse de glace sur les bords de la Léna et par 70° de latitude nord.

Comment concilier la présence d'animaux de ce genre au milieu des glaces qui nous les ont conservés, avec un abaissement graduel de température? N'y trouve-t-on pas la preuve, au contraire, qu'un froid très-intense est arrivé tout à coup et a saisi ces pachydermes, qui n'ont pu s'y soustraire et dont la race a été ainsi anéantie?

Dans l'hypothèse d'une diminution lente de la température du climat, tous ces faits s'expliquent naturellement. Les grands pachydermes vivaient dans

ces régions à une époque où elles jouissaient d'un été tempéré et d'un hiver qui était assez froid pour que la glace pût se former et persister vers le pôle. Chaque année de grandes inondations arrivaient périodiquement, et des cadavres flottants, pris dans les glaces du nord, y sont restés jusqu'à l'époque actuelle, où le hasard en a fait découvrir quelques-uns. Les mammouths se sont successivement reculés dans les zones tempérées, à mesure que le climat devenait plus rigoureux vers les pôles, et, destinés par la nature à une température moyenne et à des conditions particulières de climat, qu'ils n'ont plus retrouvées sous d'autres latitudes, leur race s'est éteinte comme disparaîtront sans doute toutes celles qui existent maintenant sur notre planète.

Il est très-possible qu'à l'époque où vivaient en si grande abondance les mastodontes et autres pachydermes dans les zones polaires et ensuite tempérées, ces animaux ne pussent encore exister sous l'équateur à cause d'un climat ultra-tropical. Créés d'abord vers les pôles lorsque les conditions climatériques auront permis leur existence, ils auront successivement reculé, en modifiant leurs espèces, jusque sous la zone la plus chaude du globe, qui leur sera devenue accessible par son refroidissement, tandis que les contrées qu'ils habitaient auparavant ne leur ont plus présenté de moyens d'existence.

M. Owen a signalé dernièrement la découverte, faite

par M. Ball, d'une espèce de *macaque,* qui existait en Angleterre à l'époque où y vivaient aussi les *mammouths,* les *rhinocéros tychorhynus* et *leptorhynus*, et autres espèces perdues de mammifères, c'est-à-dire à l'époque de la formation du nouveau pliocène.[1]

La présence de ces animaux sous cette latitude ne prouve nullement un climat tropical; car un *macaque* vit encore à Gibraltar, une autre espèce habite le Japon, en sorte que ces singes paraissent organisés pour supporter une température moins élevée que les autres espèces.

Quant à la conservation séculaire des animaux dans les glaces, elle n'a rien qui doive surprendre. Tout le monde sait que les objets susceptibles de corruption que l'on enveloppe de glace se conservent très-longtemps. On a des exemples très-curieux de cadavres ensevelis sous la neige, ou même simplement exposés au froid, qui sont restés sans altération.

Au mois d'août 1775 le capitaine Warrens rencontra un bâtiment dans le voisinage de Groenland, et il trouva l'équipage mort. Un homme, assis sur une chaise, tenait encore la plume avec laquelle il semblait finir de tracer ces lignes : 1.er *novembre* 1762. *Voilà* 70 *jours que nous sommes enfermés dans les glaces. Avant-hier le feu manqua, et notre patron essaya*

---

1 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; tome XXI, page 574.

vainement de le rallumer; sa femme est morte ce matin.....

En effet, le capitaine trouva cette femme couchée sur un lit. La contraction des membres était le seul signe auquel on put reconnaître qu'elle avait perdu la vie. Son visage exprimait une forte attention. Un peu plus loin était un jeune homme, tenant encore un briquet et une pierre à fusil. On reconnut par le journal de ce bâtiment qu'il y avait 17 ans qu'il était parti d'Angleterre, et il semblait cependant que la scène affreuse qui s'y présentait ne datait que de la veille.

Cette rencontre eut lieu par 77° de latitude.[1]

Si, dans ces circonstances, 17 ans n'ont apporté aucune altération sur des corps organiques aussi altérables, on conçoit facilement comment des cadavres enchassés dans la glace ont pu traverser des milliers de siècles, et arriver jusqu'à nous avec leurs formes et leurs chairs.

M. Forbes a retrouvé en 1843 une grande quantité de paille située sous les pierres qui avaient formé les murs de la cabane que Saussure fit construire en 1788 sur le col du Géant.

Tout nous indique donc une diminution lente dans la chaleur des climats solaires et rien ne nous autorise à reconnaître un abaissement de température

---

1 Revue Britannique; 5.e année, novembre 1829, page 160.

à une époque géologique moderne; tout repousse l'idée d'une période glaciaire.

Les coquilles appartenant à des régions froides que l'on a rencontrées dans quelques localités et sur la présence desquelles on s'est appuyé pour étayer l'hypothèse d'une diminution de température à l'époque du terrain erratique, ne peuvent réellement pas être considérées comme des témoins authentiques, car il résulte des belles recherches de M. Forbes, que nous avons déjà citées, que les espèces des mers les plus septentrionales des côtes d'Angleterre se retrouvent dans la Méditerranée, mais à une plus grande profondeur.

M. le professeur Loven, de Stockholm, a observé parmi les mollusques une distribution verticale correspondant à leur distribution horizontale, suivant les latitudes. Ainsi entre Gothenbourg et la Norwège M. Loven a trouvé, à 160 mètres de profondeur, des espèces qui, sur la côte du Finmarck, habitent à 40 mètres; plusieurs espèces s'élèvent même sur cette dernière côte jusqu'à la région littorale, tandis que dans le sud elles se tiennent toujours à 24 ou 30 mètres au-dessous du niveau de la mer.[1]

Ainsi les zones de distribution des coquilles marines seraient précisément inverses de celles de la vé-

---

1 Bulletin de la Société géologique de France; 2.e série, t. II, page 486. — Bibl. univ.; nouv. série, 10.e année, janvier 1845, page 189.



gétation. Les premières au-dessous du niveau de la mer indiqueraient, en s'enfonçant, une compensation de latitude septentrionale, et les secondes, en s'élevant graduellement et s'éloignant en sens inverse de cette surface, conduiraient aux mêmes résultats. Il y a plus, on sait qu'une petite élévation correspond à un large espace de latitude, et une petite profondeur sous l'eau peut aussi remplir les mêmes conditions qu'une assez grande inégalité en altitude. Il semble que cette différence soit en rapport avec celle qui résulte de la densité comparée de l'eau et de l'air. L'immersion de ces animaux les soustrait aussi à la lumière et les rapproche encore des conditions polaires.

Les mers profondes sont, pour la plupart des êtres vivants, dont les germes ne peuvent les traverser à flot sans périr, un obstacle bien plus insurmontable encore que l'existence des hautes chaînes de montagnes.

On a indiqué souvent comme une preuve de l'existence d'une période glaciaire, la présence de débris appartenant au renne et à quelques autres espèces polaires, dans des climats et sous des latitudes où ces animaux ne peuvent plus exister aujourd'hui, parce que la température y est trop élevée; mais ces débris appartiennent tous à l'époque erratique, pendant laquelle les glaciers avaient acquis une grande extension. Ces animaux trouvaient alors, sous des latitudes plus basses, des conditions d'existence qu'ils

n'y rencontrent plus aujourd'hui. Les quantités considérables de neige qui tombaient en hiver par suite d'une évaporation plus active et qui ne pouvaient fondre complétement en été, malgré l'élévation de température qui régnait en cette saison, étaient la cause de ces circonstances favorables au développement des espèces du nord, et si nous admettons l'extension des glaciers, quelle qu'en soit l'origine, nous sommes forcés d'en accepter toutes les conséquences. Ainsi la présence de grandes quantités de neige et de glace a suffi, malgré une élévation générale de température, pour rendre les hivers plus froids. M. Lyell professe la même opinion. « Un des caractères « de la vie dans les mers à une haute latitude, dit ce « savant, c'est la rareté des espèces comparée au grand « nombre des individus, et ce caractère s'observe dans « toutes les collections de fossiles que l'on a trouvés « sur les deux continents, comme contemporains du « terrain erratique. Il faut bien en conclure que, lors « de cette formation, il existait un climat plus rigou- « reux que celui qui règne de nos jours dans ces ré- « gions, et que ceux qui pensent avec nous que c'est « aux glaces flottantes, probablement encore plus abon- « dantes alors que de nos jours, que le transport des « blocs doit être principalement attribué, verront dans « la présence continuelle de ces glaces dans ces cli- « mats une cause suffisante de l'abaissement de la « température moyenne. On sait, en effet, que l'on

« voit souvent le thermomètre baisser de 10 degrés, « soit dans l'eau, soit dans l'atmosphère, lorsqu'on « s'approche des grands bancs de glaces flottantes, et « que, lorsqu'on navigue dans leur intérieur, la tem- « pérature tombe habituellement au-dessous de 0. »[1]

M. Durocher regarde aussi les hivers de la période diluvienne comme plus froids que les nôtres et comme ayant produit des glaces plus considérables dans le nord de l'Europe.[2]

Nous ne savons presque rien de la végétation de l'époque alluviale; les débris entraînés par des actions de transport plus ou moins violentes ont rarement résisté; mais ce que nous avons pu reconnaître de la flore diluvienne, nous montre aussi la diminution de la température et la tendance des formes à se rapprocher de celles qui existent actuellement.

Cette série de créations successives ou peut-être ce développement sous des types divers d'une même création, dont nons venons de parcourir les phases, s'accorde, comme on le voit, avec une longue suite de climats solaires dont nous occuperions le terme actuellement le plus éloigné du commencement de la série.

Il ne paraît pas qu'il y ait eu d'interruption mar-

---

1 Lyell, *Travels in North-America*, etc.

2 Durocher, Bull. de la Société géolog. de France; 2.[e] série, tome IV, page 63.

quée et complète dans cette série de créations, ou du moins, si une cause est venue arrêter le développement des forces organiques, elle a été locale et les êtres antérieurs à l'effet destructeur n'ont pas tous péri pendant son action; ils se sont ensuite modifiés pour s'adapter aux milieux dans lesquels ils devaient vivre, et ceux qui n'ont pu se plier à ces circonstances se sont éteints peu à peu.

L'uniformité de température, peu dépendante des climats et des saisons dans les premiers âges du monde, entretenait ainsi à la surface de la terre uniformité de créations; mais peu à peu ont changé et la lumière et la chaleur, le degré d'humidité et la composition de l'atmosphère. Insensiblement la chaleur centrale, qui d'abord surpassait celle qui était propre au climat, a cessé de se manifester. Des zones différentes par leur température et par plusieurs autres caractères, se sont établies; indécises d'abord dans leurs limites, elles sont devenues de plus en plus distinctes et les êtres organisés se sont peu à peu habitués à s'y adapter, en modifiant leurs organes, et de là est venue cette grande variété d'êtres vivants qui caractérise notre époque.

Ainsi, quoique les couches dont se composent les terrains de sédiment nous revèlent de nombreuses espèces, dont elles ont conservé les empreintes ou les débris, nous ne devons pas moins considérer l'état actuel du règne organique comme le plus compliqué qui ait jamais existé, et notre époque comme celle

qui présente le plus grand nombre de genres et d'espèces qui se soient jamais montrés ensemble ou qui aient vécu pendant les mêmes temps. Nous devons attribuer cette variété à la longueur de la période géologique pendant laquelle nous vivons, à l'état calorifique du soleil, aux nombreuses inégalités de la surface de notre globe et à la composition de l'atmosphère qui l'enveloppe.

Ces causes isolées ou réunies modifient singulièrement la distribution géographique des êtres vivants, et à de nombreuses exceptions près, nous retrouvons en séries horizontales ou en groupes plus ou moins éloignés géographiquement, des différences aussi grandes que celles qui nous ont été offertes dans la série superposée que nous venons d'étudier.

CHAPITRE XXV.

DE LA PROBABILITÉ DU REFROIDISSEMENT SÉCULAIRE DU SOLEIL.

Toutes les considérations que nous avons exposées dans les chapitres précédents nous ont conduit à admettre un refroidissement lent et séculaire du soleil; il nous reste à examiner si cette conclusion peut s'accorder avec les phénomènes astronomiques que nous connaissons, avec les diverses observations qui ont été faites sur les astres, avec les théories possibles qui ont été proposées.

Le soleil doit-il se refroidir en émettant continuellement de la chaleur et de la lumière, ou doit-il conserver éternellement sa puissance calorifique et son éclat?

Il est bien difficile de comprendre qu'un corps qui lance des rayons de chaleur ne se refroidit pas; cela est contraire à tout ce que nous connaissons, à tout ce que nous savons en physique; pourquoi le soleil ferait-il exception?

L'étude si moderne des nébuleuses et des étoiles doubles nous a pour ainsi dire dévoilé la création des mondes, et la théorie de Laplace, si simple et si grande à la fois, semble avoir été confirmée par toutes les découvertes ultérieures.

Une matière nébuleuse excessivement rare aurait été primitivement disséminée dans l'espace, et c'est au milieu de cette immensité qu'une volonté suprême aurait établi l'attraction.

Herschel, en observant les nébuleuses au moyen de ses puissants télescopes, a suivi les progrès de leur condensation, non sur une seule, ce progrès ne pouvait devenir sensible pour nous qu'après des siècles, mais sur leur ensemble, comme on suit dans une vaste forêt l'accroissement des arbres sur les individus d'âges divers qu'elle renferme. Il a d'abord observé la matière nébuleuse répandue en amas inégaux dans les différentes parties du ciel, dont elle occupe une grande étendue. Il a vu dans quelques-uns de ces amas cette matière faiblement condensée autour d'un ou de plusieurs noyaux peu brillants; dans d'autres nébuleuses ces noyaux brillent davantage relativement à la nébulosité qui les environne. Les atmosphères de chaque noyau venant à se séparer par une condensation ultérieure, il en résulte des nébuleuses multiples, formées de noyaux brillants très-voisins et environnés chacun d'une atmosphère; quelquefois la matière chaotique, en se condensant d'une manière uniforme, produit les nébuleuses que l'on nomme planétaires. Enfin, un plus grand degré de condensation transforme toutes ces nébuleuses en étoiles.

Ces corps célestes, classés d'après cette vue philosophique, indiquent, avec une extrême vraisemblance,

leur transformation future en étoiles et l'état ultérieur de la nébulosité des étoiles existantes. Ainsi l'on descend par le progrès de la condensation de la matière nébuleuse à la considération du soleil, environné autrefois d'une vaste atmosphère. L'évidence de cette ancienne atmosphère solaire et de son étendue a conduit le célèbre Laplace, auquel nous avons emprunté les lignes précédentes, à donner, dans son exposition du système du monde, une théorie qui consiste à regarder les planètes comme le résultat de la condensation successive de différentes zones de l'atmosphère solaire, et les satellites comme provenant de la condensation des atmosphères planétaires.

Cette hypothèse explique à la fois :

1.° Les mouvements des planètes dans le même sens et à peu près dans un même plan;

2.° Les mouvements des satellites dans le même sens que ceux des planètes;

3.° Les mouvements de ces différents corps et ceux du soleil, dans le même sens que leurs mouvements de projection, et dans des plans peu différents;

4.° Le peu d'excentricité des orbites des planètes et des satellites;

5.° Enfin, la grande excentricité des orbites des comètes, quoique les inclinaisons aient été abandonnées au hasard.

Il est difficile de trouver une théorie plus simple qui explique un si grand nombre de phénomènes,

et qui, par cela même, s'approche davantage de la vérité.

Mais, en admettant la condensation successive de la matière chaotique et sa contraction en sphères plus ou moins volumineuses, on donne à toutes ces sphères une origine commune; on les suppose formées à peu près des mêmes matières et on leur accorde une incandescence proportionnée à la condensation de la matière dont le calorique latent devient sensible, à mesure que la matière rapproche ses molécules et que la vapeur devient plus dense, à mesure que celle-ci se liquéfie ou passe de la fluidité à la solidité, qui est le dernier état de tous ces globes.

Or il est impossible que des astres distribués dans l'espace dont la température paraît être au moins de —50°, et qui sont arrivés lentement à l'état solide, en émettant continuellement du calorique, ne continuent pas à se refroidir jusqu'à ce que leur température soit égale à celle de l'espace environnant. Une élévation de température pourra se manifester momentanément, si par quelques circonstances le calorique latent, devenu sensible, dépasse le calorique perdu, mais en somme il y aura toujours rayonnement et perte continuelle de chaleur.

Chaque rapprochement des molécules élevera donc la température et en même temps, si aucune cause ne s'y oppose, le calorique se dispersera dans l'espace et l'astre se refroidira.

Quelle serait donc la cause qui aurait arrêté le refroidissement du soleil, lorsque celui de tous les autres corps de son système aurait eu lieu? Il ne peut y avoir eu de différences que dans la durée et la proportion de ce refroidissement. La terre, infiniment plus petite, se sera refroidie avec rapidité et le soleil, avec sa masse immense, aura conservé et conservera sans doute encore très-longtemps sa température toujours très-élevée, mais décroissante.

W. Herschel croyait à une périodicité dans l'intensité de la lumière solaire, et il l'assimilait à une étoile changeante, et sir John Herschel semble admettre un changement séculaire.

« Un changement périodique si considérable dans « une étoile aussi brillante que *a* d'Orion, ne peut « manquer de réveiller l'intérêt sur ce sujet et de faire « revivre les idées émises par mon père sur la proba- « bilité d'un changement d'éclat dans notre soleil lui- « même....... »

Il est de fait que plusieurs étoiles ont éprouvé dans les âges précédents, compris dans les annales de l'histoire astronomique, des changements très-étendus dans leur éclat apparent, sans qu'il y ait eu un changement de distance suffisant pour produire un tel effet. Si notre soleil a été jamais intrinséquement plus brillant qu'il ne l'est maintenant, la température moyenne de la surface de notre globe devait sans doute être alors proportionnellement plus grande.

Nous parlons ici des changements séculaires et non périodiques.

Un illustre astronome, dont l'opinion est d'un si grand poids en pareille matière, semble admettre aussi ce refroidissement, dont l'étude de la géologie nous présente des preuves si nombreuses.

« Dans l'explication d'un aussi curieux phénomène, « dit M. Arago, en parlant du refroidissement des pôles, « les cosmologues n'assignent aucune part à des va- « riations possibles dans l'intensité du soleil, et cepen- « dant les étoiles, ces soleils éloignés, n'ont pas la « constance d'éclat que le vulgaire leur attribue, et « quelques-unes, dans un espace de temps assez court, « se sont trouvées réduites à la centième partie de leur « intensité primitive, et plusieurs ont même totale- « ment disparu. On a préféré tout attribuer à une « chaleur propre ou d'origine dont la terre aurait été « jadis imprégnée et qui se serait graduellement dis- « sipée. »

Il ajoute un peu plus loin : « Tant que le soleil con- « servera le même éclat, les hommes d'un pôle à l'autre « retrouveront sous chaque latitude les climats qui « leur ont permis d'y vivre et de s'y établir. »[1]

M. Pouillet, dans son beau mémoire sur la chaleur solaire, en supposant qu'aucune cause particulière

---

1 Arago, Éloge historique de J. Fourier : Annales de chimie et de physique; tome LXVII, avril 1838, page 386 et 391.



ne puisse reproduire cette chaleur à la surface de l'astre, dans l'hypothèse d'une conductibilité parfaite, et en considérant la chaleur spécifique comme 133 fois celle de l'eau, attribue au soleil l'énorme refroidissement d'un degré par siècle, en supposant l'espace à — 142.[1]

Ce refroidissement est loin d'être aussi grand; mais si aucune cause de création de chaleur n'existe, quelle que soit la valeur du refroidissement, il doit s'opérer.

C'est par les pôles que la terre a dû commencer à se refroidir, aussitôt qu'elle a été soustraite à l'influence du feu central. C'est peut-être par son équateur que le soleil doit perdre de sa température, et c'est en effet sur cette zone que l'on voit nager les taches qui peuvent n'être que des parties qui commencent à se figer et qui nous indiquent de loin comment les premières portions de terrain solide se formèrent sur la terre.

M. Angelot a lu en février 1840 à la Société géologique des observations très-intéressantes sur la formation de notre système solaire, et si nous avons bien compris ses idées, il suppose qu'à l'époque du chaos universel, l'attraction étant créée par une cause ou une volonté quelconque, un certain nombre de centres se sont manifestés, et l'homogénéité de ce grand tout a été rompue.

---

1 Compt. rend. d. séances de l'Acad. des sciences; t. VII, p. 60.

« Les centres d'attraction sont devenus chacun le « centre d'un système solaire ou d'un ensemble de « systèmes solaires, tels que peuvent l'être les nébu- « leuses ou une partie d'entre elles, d'après les hypo- « thèses actuelles des astronomes, qui les considèrent « comme des univers en voie de formation.

« Une fois l'attraction établie et agissant dans un « certain nombre de centres, l'excessive vitesse des « particules qui s'y précipitaient, la grande pression « qui en résultait et les actions chimiques qui devaient « s'y exercer, peuvent, selon M. Angelot, expliquer la « cause de ce grand développement de chaleur, suffi- « sant pour fondre les matières de tout notre système « solaire.

« Bientôt cette immense température a fait ressort « contre la pression même; elle a ralenti, puis arrêté « la vitesse avec laquelle les molécules de la matière « marchaient vers le centre, et a commencé à s'écouler « vers la surface, et dès l'origine de cette concentra- « tion, il a dû y avoir décroissement de la température « du centre de la surface. »

M. Angelot pense qu'à cette époque primitive, où la matière était supposée également étendue dans l'espace, la température de l'espace était aussi sensiblement uniforme; mais que la matière, en se précipitant, a entraîné son calorique, qui d'abord latent est devenu sensible par la condensation de la matière, en sorte que l'espace s'est considérablement refroidi,

pendant que les globes qui se formaient étaient doués d'une chaleur capable de fondre tous leurs éléments.

« Maintenant nous assistons à la contre-partie ou « réaction du phénomène. L'équilibre de la tempéra- « ture tend à se rétablir et pour la terre et le soleil « en particulier ; nous les voyons restituant graduel- « lement aux espaces, sous forme rayonnante, le calo- « rique que les matières qui les composent en ont « enlevé. L'infériorité de la température des espaces « où circule actuellement la terre, est un fait qui n'est « contesté par personne, seulement on varie sur le « degré précis. Fourier l'évaluait à — 50 ou — 60°, « Poisson à — 13° ; plus récemment encore, M. Pouil- « let a pensé que cette température est comprise entre « — 187 et — 115°, et il a cru pouvoir la déterminer « avec une certaine approximation à — 142° ; il a aussi, « d'après ses expériences, évalué la quantité de chaleur « que le soleil émet en une minute, à celle qui serait « nécessaire pour fondre une couche de glace de 11^{m},80 « d'épaisseur, appliquée sur toute la surface du globe « solaire, ou, en un an, une couche de glace de « 6 206 328 mètres, ou à peu près de l'épaisseur du « rayon terrestre. Enfin, il sort de la terre chaque « année un flux de chaleur capable de fondre sur toute « sa surface une couche de glace de 6 ½ millimètres.

« La même analogie nous conduit à admettre, pour « tous les corps célestes, le même refroidissement gra- « duel à un état plus ou moins avancé. La chaleur

« envoyée par le soleil à la terre et dans tous les espaces, « est une preuve du refroidissement de cet astre lui-« même, à moins qu'on ne lui suppose une autre cause « de production de chaleur que celle de l'immense « pression qui doit y avoir lieu à cause de sa masse. « Cette supposition n'est appuyée que sur des hypo-« thèses bien vagues : la nôtre vient ici tout naturelle-« ment se rattacher à celle de Laplace, qui n'en est « plus alors qu'une conséquence.

« Notre univers n'est qu'une nébuleuse concentrée « depuis longtemps par l'attraction; les matières qui « le composent n'ont pu provenir d'une limite plus « éloignée que celle où l'attraction du système solaire « est balancée par l'attraction des astres les plus voisins « dans toutes les directions. Ce sont probablement les « étoiles que nous appelons fixes, et que nous aperce-« vons isolées, ou celles qui nous paraissent agglomé-« rées dans la voie lactée, laquelle n'est peut-être, « comme le pensent quelques astronomes, qu'un grand « système dont notre univers n'est qu'une petite partie. »

Ces considérations nous paraissent d'autant plus vraies, que déjà, dans notre système solaire, nous voyons, à sa limite, la régularité de direction cesser dans les satellites d'Uranus, et probablement dans la rotation de cette planète elle-même; comme si, lors de leur condensation à une si grande distance du centre attractif, un autre corps, également distant, les eût influencés; semblables, en quelque sorte, à

ces populations trop éloignées de la métropole qui suivent bien les mêmes lois, mais y tiennent peu, et sont quelquefois prêtes à rompre leurs rapports, pour adopter les coutumes des nations voisines.

Qui sait d'ailleurs les révélations nouvelles que nous devons attendre de cet astre éloigné, le plus ancien peut-être de notre système planétaire, et qui roulerait encore inconnu pour nous dans l'espace, si le génie moderne du célèbre Leverrier ne s'était pas élevé à cette brillante conception.

Cette tendance de la matière à se réunir en centres, que l'on remarque aussi bien dans l'univers que dans la plupart des corps terrestres, dans les granits, dans les roches, même déjà solidifiées, dans nos dissolutions et composés chimiques, est le résultat des lois de l'attraction qui agit partout. Elle donne une grande probabilité à l'hypothèse de Laplace sur la création de notre monde, d'autant plus qu'elle explique le mouvement de rotation du soleil et des planètes par la seule supposition, comme le dit M. Angelot, que la forme de l'espace qui contenait la matière chaotique n'était pas exactement sphérique. L'excès d'impulsion donnée dans une direction quelconque, a pu communiquer le mouvement, et l'on sait, par les calculs de Laplace, que l'on peut parier 137 milliards contre un que cette cause est unique.

Des matières à peu près semblables composent donc, selon toute apparence, tous les astres de notre sys-

tème planétaire; une même loi, émise par la volonté du Tout-Puissant, a donc pu immédiatement organiser les mondes qui, créés par une même cause, doivent se comporter tous de même, rayonner dans l'espace et se refroidir, en proportion de leur volume et de leur position relativement au soleil, qui doit perdre sa chaleur comme les autres, mais avec plus de lenteur à cause de sa masse considérable.

M. Angelot apporte encore une autre preuve de l'unité de composition des corps célestes, c'est l'analyse des aérolithes, qu'il regarde comme de petits astres ou des fragments d'astres faisant partie de notre système solaire, et qu'il trouve formées des mêmes éléments qui sont les plus répandus sur notre globe; car il considère les masses de fer météoriques, comme les noyaux de ces petites planètes, et les bolides, formés d'oxide, comme leur croûte. Il fonde cette opinion sur la composition et sur la différence de densité, qui est à peu près double pour les masses métalliques que pour les météorites ordinaires. De plus, si ces petits astres « ont des atmosphères et des eaux, ces « atmosphères et ces eaux doivent se confondre avec « notre atmosphère lorsqu'ils y pénètrent.

« Nous présentons cette hypothèse, continue M. An- « gelot, non comme un fait scientifique parfaitement « démontré, mais seulement comme une conséquence « possible de la seule loi universelle que nous connais- « sions dans la nature, l'*attraction*. Cette hypothèse



« expliquerait un fait qui jusqu'ici a été pris pour « point de départ pour les hypothèses les plus géné-« ralement admises, je veux parler de celles sur la « fusion primitive du globe, sa chaleur centrale et la « formation de l'univers solaire; elle nous ferait ainsi « monter encore un échellon vers la connaissance de « l'état primitif de l'univers. »[1]

M. de Humboldt, dont le jugement si remarquable a déjà dévancé tant de fois les vérités démontrées par des faits, adopte aussi l'unité de composition dans notre système planétaire. « Pourquoi, dit-il, et ici je « pourrais rappeler le célèbre entretien de Newton et « de Conduit, à Kensington, pourquoi les éléments qui « forment un même groupe d'astres, un même système « planétaire, ne seraient-ils pas en grande partie iden-« tiques? Comment admettre en principe l'hétérogé-« néité des planètes, en présence du beau système qui « explique leur genèse, par la condensation graduelle « d'anneaux gazeux que l'atmosphère solaire aurait suc-« cessivement abandonnés? A mon avis, nous sommes « tout aussi peu autorisés à attribuer exclusivement « au nickel, au fer, à l'olivine ou au pyroxène (augite) « des aérolithes, la qualification de substances ter-

1 Des conséquences de l'attraction, relativement à la température du globe terrestre, des corps célestes et des espaces, et à la composition de ces mêmes corps : Bulletin de la Société géolog. de France; tome XI, page 136.

« restres, que je pourrais l'être à désigner, par exemple, « comme espèces européennes de la flore asiatique, ces « plantes allemandes que j'ai rencontrées par-delà l'Oby. « Et si les astres d'un même système se composent des « mêmes éléments, comment refuser d'admettre que « ces éléments, soumis aux lois d'une mutuelle attrac- « tion, puissent se combiner dans des rapports déter- « minés, et donner naissance, soit aux dômes resplen- « dissants de neige ou de glace qui couvrent les régions « polaires de Mars, soit, dans d'autres astres, aux pe- « tites masses météoriques qui renferment, comme les « minéraux de nos montagnes, des cristaux d'olivine, « d'augite et de labrador? On ne doit jamais rien aban- « donner à l'arbitraire, et jusque dans le domaine des « conjectures, il faut que l'esprit sache se laisser guider « par l'induction. »[1]

Nous savons très-peu de chose sur la nature de la lumière solaire. L'enveloppe lumineuse qui, selon toute apparence, entoure le soleil et lui sert d'atmosphère, ne doit être qu'une conséquence de l'incandescence du noyau, et ne prouve nullement, que les moyens de production de chaleur que possède cet astre, soient limités à son atmosphère. Ce que l'on sait, d'après les belles recherches de M. Arago, c'est qu'elle se comporte comme la lumière des gaz incandescents et qu'elle n'est pas susceptible de polarisation.

---

1 Humboldt, Cosmos; trad., page 147.

M. Angelot, adoptant la température de 1200° supposée par M. Pouillet, regarde l'incandescence de l'atmosphère solaire comme produite par de grandes quantités de gaz oxigène et hydrogène qui se combineraient dans les hautes régions de son atmosphère, et, retombant plus près du disque, se décomposeraient de nouveau par l'excès de chaleur pour se combiner encore quand ils auraient atteint les régions plus élevées. Ces matières agiraient comme la vapeur d'eau sur la terre qui, formée par la chaleur, s'élève sous forme de vapeur, se condense dans la partie supérieure et constitue les nuages qui se résolvent en pluie, retombent sur la terre, s'évaporent de nouveau, et ainsi de suite; admirable circulation qui entretient aujourd'hui la fertilité sur notre globe, et qui, peut-être autrefois offrait ce magnifique phénomène que M. Angelot attribue au soleil, lorsque notre planète incandescente à sa surface, contractait incessamment l'étendue de son atmosphère et opérait sans doute de semblables combinaisons qui la rendaient brillante comme le soleil. Cet astre, beaucoup plus gros, aurait pu pendant très-longtemps nous montrer le même phénomène, et plus tard seulement, son globe immense, refroidi et couvert d'eau, deviendrait habitable, ou du moins, analogue à notre planète. L'unité de composition, la simplicité et la beauté majestueuse des grandes lois de la nature, doivent toujours être présentes à notre esprit quand notre imagination pousse notre intaris-

sable curiosité à la contemplation de ces mystères et notre orgueilleuse vanité à leur pénétration.

Le peu de densité du soleil doit nous faire supposer qu'une chaleur très-intense existe dans l'intérieur de cet astre; car, sans cette cause puissante de dilatation, la gravité rapprocherait certainement les particules de cet astre et lui donnerait une densité que nous devrions supposer pouvoir arriver facilement à celle de la terre. Les grosses planètes, qui sont aussi moins denses que notre globe, sont probablement aussi soumises à un état de dilatation due à la même cause; mais il existe une différence prodigieuse entre leur volume et celui du soleil, en sorte que, si nous admettons avec Fourier, que la température de l'espace est de — 50°; si nous admettons, que la matière qui compose les globes de notre monde, ainsi que celle du soleil, est à peu près de même nature, nous reconnaîtrons de suite que le refroidissement, qui est un résultat de la condensation lente et continue de l'astre et de son rayonnement, doit être en rapport avec son volume, et dès lors toutes les planètes, et à plus forte raison leurs satellites, pourront être presque complétement refroidis à leur surface, assez du moins pour n'être plus lumineuses, tandis que le soleil, par son énorme masse, se sera refroidi beaucoup plus lentement et brillera encore d'une grande partie de son éclat.

Les astres qui composent notre système solaire auront donc pu changer de volume et se condenser

avec une extrême lenteur; ils auront donc pu changer les temps de leurs mouvements de quantités très-petites, sans que l'homme, né d'hier et ne s'occupant d'astronomie avec quelque précision que depuis 2000 ans, ait pu constater la moindre variation dans des mouvements qu'il considère dès lors comme doués d'une précision et d'une invariabilité absolues.

« Chaque siècle, en léguant aux siècles futurs quel-« ques chiffres bien faciles à obtenir, leur donnera « le moyen peut-être le plus simple, le plus exact et « le plus direct de décider si le soleil, aujourd'hui « source première à peu près exclusive de la chaleur « de notre globe, change de constitution physique et « d'éclat, comme la plupart des étoiles, ou si, au « contraire, cet astre est arrivé à un état permanent. »[1]

Laplace a démontré, d'après les observations du mouvement propre de la lune, faites du temps d'Hipparque, et l'on sait aussi d'après les observations d'éclipses faites par les Chaldéens, dont la plus ancienne qui nous soit parvenue est de l'an 720 avant J. C., que depuis ce temps le jour sidéral n'a pas varié de $1/100$ de seconde, et il en a conclu que pendant ce temps la température de la terre n'avait pas varié de $1/170$ de degré.

Les calculs de Fourier démontrent aussi que de-

---

1 Arago, Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences; tome XI, page 309. — Humboldt, Cosmos; trad., page 559.

puis l'école grecque d'Alexandrie jusqu'à nous, la température de la surface terrestre n'a pas diminué par l'abaissement de la chaleur centrale de $\frac{1}{300}$ de degré.[1]

Ces calculs ne prouvent pas pour cela que la température des climats ait toujours été la même. Ils indiquent bien que le globe entier ne s'est pas contracté par le refroidissement, et que la masse a conservé très-sensiblement la même chaleur; mais une température plus élevée peut avoir été appliquée à la surface par l'action solaire, sans avoir apporté le plus petit dérangement dans le volume de notre planète; car cette chaleur ne peut s'accumuler : celle qui pénètre par les régions équatoriales, est exactement compensée par celle qui s'écoule à travers les régions polaires; la terre rend aux espaces célestes toute la chaleur qu'elle reçoit du soleil, et elle y ajoute une partie de celle qui lui est propre, comme l'a démontré Fourier.[2]

C'est donc seulement l'état thermométrique intérieur qui n'a pas changé depuis 2000 ans. Nous ignorons ce qui, sous ce rapport, a pu s'accomplir à la surface; mais est-il rien de stable, excepté Dieu, et pourquoi ces mondes, qui circulent dans l'espace,

---

1 Fourier, Annales de chimie et de physique; tome XXVII, page 161.

2 Annales de chimie et de physique; tome XXVII, page 165.

auraient-ils le privilège d'être éternels comme celui les a créés?

La figure aplatie aux deux pôles que présentent toutes les planètes et le soleil lui-même, cet aplatissement qui concorde d'une manière si merveilleuse avec les mouvements de rotation dont chacun de ces astres est animé, nous démontre la fluidité primitive de tous ces objets célestes, de ces mondes immenses à nos yeux et qui ne sont que des parcelles de l'univers. Or, cette confirmation si remarquable du calcul par l'observation, doit nous faire considérer comme vraisemblable cette belle hypothèse de Laplace, qui, considérant notre monde comme une nébuleuse condensée, voit chacune des planètes se détacher successivement de l'orbe du soleil, et rester fixée par des lois immuables à ce grand corps, qui, dans cette hypothèse, serait devenu le noyau de cette nébuleuse planétaire.

Si les planètes ont été liquides, comme le prouve leur forme, la chaleur seule a pu les liquéfier, et si la température de l'espace est à — 50, ou — 60 comme le veut Fourier, à — 142 comme l'indique M. Pouillet, immédiatement tous ces corps ont dû rayonner et perdre du calorique. Pourquoi le soleil serait-il doué d'un pouvoir émissif continuel, sans avoir la faculté de se refroidir?

Il est très-possible qu'il en soit ainsi; mais le raisonnement et l'analogie tendent plutôt à nous faire croire le contraire.

L'étude des étoiles et des nébuleuses vient en quelque sorte confirmer cette manière de voir. Les étoiles dont l'éclat s'affaiblit, les nébuleuses qui se condensent, et tout ce merveilleux spectacle des cieux, qui ne s'est déroulé encore qu'aux yeux des astronomes modernes, aidés de leurs puissants instruments, nous démontre que tout change et se renouvelle dans la nature, et que les soleils s'affaiblissent et s'éteignent dans l'espace, comme les globes et les nations qu'ils éclairent.

CHAPITRE XXVI.

RÉSUMÉ DES IDÉES ÉMISES DANS LES RECHERCHES SUR LES ANCIENS CLIMATS SOLAIRES ET SUR LES CAUSES ATMOSPHÉRIQUES EN GÉOLOGIE.

Il n'est pas une question de l'histoire du globe qui, étudiée avec soin, ne s'étende bien au delà des limites que l'on croyait d'avance pouvoir lui assigner : telle a été pour moi celle des glaciers.

L'examen de leurs caractères physiques et la contemplation de leurs effets pittoresques, m'ont conduit à des réflexions sur les causes de leur extension, et l'existence d'anciens climats solaires m'a paru forcément démontrée par des faits qui ne pouvaient trouver ailleurs d'explication satisfaisante.

J'ai donc été amené à introduire en géologie une grande cause, que des observations directes n'ont pas encore démontrée, mais dont le raisonnement peut admettre la possibilité.

Les faits nombreux groupés dans les chapitres de cet ouvrage indiquent les conclusions suivantes :

Tous les corps célestes qui composent notre système planétaire, d'abord incandescents, se sont successivement refroidis en rayonnant dans l'espace.

Le soleil, beaucoup plus volumineux que tous les

autres, perd continuellement de sa chaleur depuis sa création; mais il en conserve encore une très-grande quantité, qui cependant doit sans cesse s'affaiblir.

La terre, primitivement liquide par fusion, s'est promptement refroidie à cause de son peu de volume, et la consolidation de sa partie extérieure a maintenu le feu central, qui manifeste à peine sa présence au dehors.

L'action solaire plus intense à cette époque que de nos jours, était cependant, dans le principe, masquée par l'incandescence extérieure de notre planète.

Dès le commencement du dépôt des terrains de sédiments fossilifères, les climats ou l'action solaire se sont manifestés sur le globe, mais faiblement et dominés par la température propre de la terre.

L'influence solaire est devenue de plus en plus sensible, et dès l'époque houillère, et à plus forte raison pendant la période du trias, elle influençait déjà les êtres vivants suivant les latitudes.

A la période jurassique ou oolitique, ou tout au moins à l'époque de la craie, les climats solaires ont acquis leur indépendance presque complète, et l'action de la chaleur intérieure de la terre a cessé de se manifester au dehors d'une manière sensible pour les êtres vivants et pour les phénomènes atmosphériques.

A part les actions plutoniques accidentelles, telles que les soulèvements, les tremblements de terre, les eaux minérales, etc., qui n'ont cessé de se montrer

depuis les temps les plus reculés jusqu'à l'époque actuelle, l'action solaire a produit tous les phénomènes géologiques, depuis la craie et peut-être depuis l'oolite jusqu'à nos jours.

Le soleil, alors plus chaud qu'aujourd'hui, agissait sur la terre en formant d'abord à ses deux extrémités une zone alternativement tropicale et refroidie, et en séparant ces deux zones par une large bande ultra-tropicale.

Cette dernière zone s'est successivement rétrécie, en sorte qu'un climat équivalent à la chaleur actuelle des tropiques a formé sur la terre deux zones concentriques, ayant les pôles pour centre, et qui, s'en éloignant avec une extrême lenteur, se rapprochaient entre elles et sont maintenant confondues en une large bande, possédant, seule sur la terre, la température élevée qui s'est promenée sur les zones glaciales et tempérées des deux hémisphères.

Pendant ce refroidissement séculaire, dû au rayonnement du soleil, les deux extrémités de la terre, placées au centre des deux cercles à température tropicale, qui s'en éloignaient de plus en plus, passaient alternativement d'une température élevée à un état thermométrique inverse, puisque l'axe de la terre, incliné, comme il l'est toujours, sur le plan de son orbite, plaçait notre globe dans les mêmes conditions relativement au soleil, que celle où il se trouve encore annuellement.

Une évaporation très-active était la conséquence inévitable d'une température élevée, et quoique moins grande, certainement, qu'à l'époque où la chaleur centrale s'ajoutait encore à celle du soleil, elle donnait lieu à des phénomènes mieux caractérisés, parce que chaque pôle pouvant se refroidir jouait alternativement le rôle d'un vaste condensateur, sur lequel ruisselaient d'immenses torrents.

Une époque est arrivée où chaque pôle, pendant l'absence du soleil, pouvait acquérir une température inférieure à 0, et dès lors l'eau solide parut sur le globe, et forma sur le pôle refroidi une masse plus ou moins volumineuse, mais incomparablement plus grande que celle qui existe maintenant, à cause de l'énorme évaporation qui avait lieu sur toute la terre.

Quoique indépendante du feu central dès les terrains oolitiques, la chaleur solaire a probablement suffi pour maintenir le pôle au-dessus de 0 très-longtemps encore par le contact du point refroidi avec des terres échauffées, des eaux tiédies et des courants d'air à température plus élevée.

Les pluies seules agissaient alors comme auparavant et donnaient lieu à d'immenses dégradations.

C'est à l'époque de la craie, ou au moins dès le commencement de la période tertiaire, que la neige s'est alternativement accumulée sur chaque pôle pendant les hivers.

Le retour d'un soleil plus actif que le nôtre, et sa

présence prolongée sur chaque extrémité du globe, accompagné sans doute de pluies vernales et abondantes, dissolvait et délayait ces neiges amoncelées, en produisant d'immenses courants, chargés de nombreux matériaux, qui, chassés des points culminants sur des plans plus ou moins déclives, les ont usés, polis et sulcaturés, mais non burinés.

Le calme succédait à la débâcle; les courants marins devenaient moins actifs; les rivières rentraient dans leur lit à la période estivale et automnale; le repos absolu annonçait l'hiver et sa longue nuit polaire.

Ces effets périodiques se renouvelèrent pendant une longue suite de siècles, agissant alternativement sur les deux pôles et sur les montagnes élevées qui avaient déjà été soulevées dans les deux hémisphères.

L'action solaire diminuant toujours d'intensité, il dût rester sur les pôles et sur les montagnes une certaine quantité de neige qui resistait à la fusion estivale.

Cette neige, à demi fondue par la chaleur solaire, se transformait en glace, qui prit successivement plus d'extension, et dès lors commença l'apparition des glaciers et la cause des phénomènes erratiques, dont l'âge est très-probablement différent pour les pôles et les diverses chaînes de montagnes.

La formation des glaciers exige la chute de la neige sur un point du globe, son ramollissement et sa demi-fusion par la chaleur, sa persistance au delà des deux saisons contraires, l'hiver et l'été.

La progression du glacier et sa marche plus ou moins rapide demande encore de la chaleur, et se trouve aussi subordonnée à la configuration du sol.

Son extension ou son rayonnement autour du pôle ou des points culminants est dû à l'alimentation qu'il reçoit par la neige qui tombe.

Son retrait ou sa rétrogradation vers les centres de rayonnement tient à la fusion de son extrémité inférieure.

Si ces deux actions se compensent, le glacier est stationnaire.

Des inégalités dans l'alimentation et la fusion sont les causes d'extension et de retrait.

La principale cause d'alimentation du glacier réside dans l'abondance du nevé et dans l'étendue du cirque qui le reçoit. La congélation de l'eau à l'extérieur ou à l'intérieur de la glace, la condensation de la vapeur contenue dans l'air, la neige éphémère qui descend à sa surface, ne font qu'une très-petite fraction de l'alimentation.

Les ressources du nevé n'existent que dans la neige qui tombe; la neige ne peut se former qu'aux dépens de la vapeur élevée dans l'atmosphère, et celle-ci ne peut être produite que par l'action de la chaleur.

Le froid ne peut donc fournir que des neiges éphémères, et si l'abaissement de température était général sur le globe, il n'y aurait pas de glaciers,

parce que l'évaporation cessant, la neige même ne se montrerait plus.

La chaleur, au contraire, favorisant la création de la vapeur d'eau, est la principale cause de la chute de la neige sur les points élevés ou refroidis, et cette cause a été bien plus active autrefois que de nos jours.

L'évaporation était encore favorisée par une plus grande abondance d'eau en circulation, par des eaux plus troubles, qui s'échauffaient plus vite et plus fortement; et par une atmosphère plus agitée, puisque les inégalités de température étaient plus grandes.

La fusion agissant sur des glaciers plus étendus était proportionnellement moins active, parce que les surfaces exposées à l'action solaire et aux pluies étaient moindres, parce qu'une partie des rayons solaires étaient réfléchis comme aujourd'hui, parce que des vents polaires devaient souffler longtemps au printemps, et parce qu'il faut à la glace, pour se liquéfier, une très-grande quantité de chaleur qui devient latente.

Cette chaleur latente, absorbée pendant la liquéfaction de la glace, est enlevée à l'air et aux corps terrestres environnants, tandis que celle qui est mise en liberté lors de la cristallisation de l'eau, étant abandonnée dans les hautes régions de l'atmosphère, rayonne presque immédiatement et en grande partie vers l'espace.

Lorsque, par suite du refroidissement du soleil, les premiers glaciers commencèrent à se former, à l'époque tertiaire vers les pôles, et à l'époque de transport sur les montagnes des zones tempérées, l'alimentation produite par une large évaporation l'emportait sur la fusion; il y avait chaque année un reste qui s'accumulant avec celui des années précédentes augmentait le glacier.

Ainsi une température élevée, en favorisant la fusion par la destruction de l'extrémité inférieure du glacier, augmentait l'alimentation dans une proportion plus grande encore, puisqu'elle était la cause première d'une forte évaporation.

L'une des deux causes, *l'alimentation,* ayant bien plus d'importance que l'autre, *la fusion,* une température anciennement plus élevée a dû servir à l'extension des glaciers, tandis qu'une température très-basse n'aurait pas même permis leur création.

L'ancienne extension des glaciers s'accorde donc parfaitement avec ce que toutes les observations géologiques nous ont appris sur l'ancienne élévation de chaleur des climats, pourvu que l'on considère ceux-ci comme dépendants de l'action calorifique du soleil et non de la chaleur centrale.

La question envisagée sous ce point de vue, nous permet de comprendre une plus grande extension des glaces aux deux pôles, dans les vallées des Alpes et dans toutes les chaînes de montagnes soumises à des

alternatives de froid et de chaud, d'été et d'hiver, de gel et de dégel.

Elle nous laisse aussi la possibilité de voir des restes de glaciers dans des lieux comme les Vosges, l'Écosse, etc., où il n'en existe plus aujourd'hui, et où, par une température plus élevée, il pouvait tomber en hiver une quantité de neige si grande, qu'elle ne pouvait complétement fondre en été.

L'époque de la plus grande extension des glaciers ayant été atteinte, ils ont dû rester quelque temps stationnaires; puis l'alimentation diminuant comme l'évaporation et la chaleur, ils se sont lentement retirés, et très-probablement ils se retirent encore.

C'est à la période de plus grande extension que les glaciers se sont développés sur les flancs des Alpes scandinaves, préalablement ravinés, dénudés et sulcaturés, qu'ils ont rempli les grandes vallées des Alpes, qui avaient déjà reçu du terrain diluvien, qu'ils ont rayonné autour des Vosges, qu'ils ont occupé les cirques des Pyrénées, et qu'ils ont paru même sur les crêtes du Jura, tandis que d'autres glaciers, venant des Alpes, se dirigeaient vers les pentes de cette même chaîne jurassique.

C'est à cette époque qu'il faut attribuer les *laves* ou roches polies et striées, notamment celles qui existent dans les Alpes, au-dessus de la limite des glaciers actuels.

Pendant la même période d'extension, les glaciers

ont posé eux-mêmes, en les charriant, une grande partie des blocs erratiques de la Suisse, du Jura, des Vosges et de plusieurs autres localités.

Une autre portion de ces blocs a été entraînée ou au moins déplacée par d'autres causes, surtout par les glaces flottantes, par les soulèvements du sol où ils étaient déposés, ou par la fonte instantanée de glaces qui les ont emportés.

Pendant que les glaciers occupaient vers les pôles et dans les vallées des montagnes des lieux qu'ils ont aujourd'hui abandonnés, la fusion annuelle et périodique, très-probablement combinée avec des pluies aussi périodiques et très-abondantes, donnait naissance à de véritables torrents d'une extrême puissance qui s'échappaient de l'extrémité des glaciers, comme ils le font encore de nos jours, mais réduits aujourd'hui à de simples filets.

Le terrain diluvien se déposait alors en même temps que le terrain erratique, phénomènes qui ont continué jusqu'à l'époque actuelle.

Mais la période diluvienne qui a précédé partout l'apparition des glaciers, a produit les principaux dépôts de transport qui débordent partout dessous le terrain glaciaire ou erratique.

La présence de cailloux roulés à de grandes élévations, et leur immense accumulation sur certains points, accuse une grande puissance dans la force qui les transportait, une action tumultueuse dans leur

dépôt, et des alternances d'agitation et de tranquillité.

Elle accuse surtout la grande importance des cours d'eau de cette époque, dont les fleuves actuels ne sont que de faibles délaissements ; elle rappelle l'étendue des lacs et la grande quantité d'eau qui était alors en circulation.

Elle nous indique que, malgré sa puissance, cette grande force diluvienne n'était qu'un reste de ces anciens lavages qui, commençant aux pôles, ont détruit les premiers terrains pour former les couches siluriennes, et se sont continués sans interruption en dénudant le sol et abaissant les montagnes, mais en s'affaiblissant toujours jusqu'à l'époque actuelle.

La disposition rayonnante des terrains de transport autour des centres nombreux, aujourd'hui surbaissés par une action destructrice, nous démontre que les pôles et les montagnes ont toujours joué le rôle de condensateurs, dont les effets étaient d'autant plus marqués, que l'évaporation était plus active et les inégalités de température plus caractérisées.

Il est impossible cependant de ne pas reconnaître comme effets accidentels quelques lavages instantanés, sans doute produits par les soulèvements assez modernes, de quelques grandes chaînes de montagnes.

Tous les faits géologiques relatifs aux glaciers, aux terrains erratiques et diluviens, s'accordent avec l'hypothèse d'une diminution très-lente de température, ayant pour cause le refroidissement propre de la terre

jusqu'à l'époque oolitique, et l'affaiblissement de la chaleur solaire dans toutes les périodes suivantes, notamment pendant la longue série diluvienne.

Parmi les diverses théories qui ont été présentées pour l'explication du phénomène erratique, et qui admettent toutes une température inférieure à celle qui règne de nos jours, il n'en est aucune qui s'accorde avec les faits observés.

La théorie des glacialistes est surtout incompatible avec tout ce que l'on a observé jusqu'à ce jour.

L'étude des fossiles et de leur distribution dans le sens vertical et horizontal, ou en profondeur et en latitude, vient confirmer l'hypothèse d'un refroidissement solaire et de l'influence des climats depuis l'époque de la première apparition des êtres vivants sur le globe.

La grande uniformité, ou les nombreuses analogies que l'on remarque dans les formes des anciennes productions organiques de la terre, annonce que la chaleur centrale était dominante et faisait sentir son influence sur toute sa surface; mais déjà, cependant, il y avait diversité de faunes et de flores dans des lieux très-éloignés.

Le développement excessif des êtres vivants de cette époque, se trouve surtout confiné dans les régions polaires et sous les zones tempérées, sans qu'il soit bien constaté encore que de vastes terrains siluriens se trouvent sous la zone torride, et s'ils y existent, qu'ils soient du même âge que ceux des zones tempérées.

La présence des plantes fossiles du terrain houiller, avec des formes analogues, mais non identiques, dans des lieux très-différents du globe, indique encore cette uniformité de température élevée qui a régné sur la terre, vers les deux extrémités du globe et sur les zones actuellement tempérées.

Ces débris désignent un climat tropical, même au delà des cercles polaires; mais il n'est pas constaté que les houillères situées sous des latitudes aussi élevées, soient contemporaines de celles qui existent sous les latitudes les plus basses des zones tempérées, et à plus forte raison, sous la zone équatoriale.

Une température ultra-tropicale régnait probablement alors sous la zone torride, et si ces anciens terrains s'y sont déposés, ils n'ont pas le même âge que ceux des régions aujourd'hui refroidies de notre planète.

A l'époque silurienne et carbonifère, les fossiles indiquent un climat très-chaud, dû sans doute à la chaleur centrale; mais à mesure que celle-ci s'affaiblissait, les climats solaires devenaient de plus en plus prépondérants, et les fossiles des terrains supérieurs, tels que ceux du terrain permien, changent d'espèce et se localisent davantage. Certaines races ont déjà disparu.

Les fossiles du terrain oolitique, de la craie et du sol tertiaire, annoncent encore une température élevée; mais on reconnaît que la chaleur diminuait et la localisation de plus en plus marquée de certaines espèces, leur limitation dans des bassins, qui deviennent

de plus en plus restreints, et par conséquent les grandes différences qui existent entre les débris de chaque dépôt particulier d'une même formation, s'accordent mieux avec l'affaiblissement lent ét graduel d'un climat solaire indépendant, qu'avec l'action affaiblie de la chaleur centrale.

Les fossiles de ces différentes époques, et surtout ceux des terrains tertiaires, semblent nous indiquer que les divers dépôts d'une même formation n'ont pas été contemporains, mais se sont présentés successivement avec des caractères analogues, en commençant d'abord vers la latitude la plus élevée où ils pouvaient se produire, et arrivant lentement sous la zone torride, où probablement leur dépôt s'opère encore à l'époque actuelle, ordre de développement incompatible avec l'action de la chaleur centrale et parfaitement en rapport avec l'affaiblissement successif des climats solaires.

La présence dans les terrains de transport de nombreux débris de mammifères, appartenant à des genres très-différents, accuse encore à cette époque un climat plus chaud que celui qui existe de nos jours, et nous prouve que la chaleur solaire a diminuée d'une manière très-sensible depuis le commencement de cette longue période.

Les pachydermes, dont on trouve abondamment les restes dans les zones tempérées; les palmiers qui existaient aussi à la même époque, nous indiquent à peu

près le climat des plaines; mais ne prouvent rien pour celui des montagnes et des régions polaires.

Ces dernières contrées avaient alors des étés plus chauds, et très-probablement des hivers plus froids, à cause de la plus grande force du soleil dans la première de ces saisons, et de la chute plus abondante des neiges pendant la seconde.

Les pachydermes, qui habitaient alors les régions du Nord, étaient des espèces particulières, organisées pour supporter ces alternatives de température, et dont les cadavres, pris dans les glaces, ont pu facilement arriver jusqu'à nous.

Nous devons considérer l'état actuel organique comme le plus compliqué qui ait jamais existé, et notre époque comme celle qui présente le plus grand nombre de genres et d'espèces qui se soient jamais montrés ensemble ou qui aient vécu dans les mêmes temps.

La présence des fossiles dans les divers terrains, la succession et la localisation de leurs espèces, s'accordent donc avec une uniformité de température qui aurait régné dans les premiers âges du monde et qui serait due à la chaleur centrale; mais bientôt l'influence des climats solaires se serait fait sentir, et le feu central aurait cessé de se manifester au dehors, des zones différentes par leur température se seraient successivement établies sur la terre; indécises d'abord dans leurs limites, elles seraient devenues de plus en

plus distinctes et les êtres vivants y auraient rencontré des conditions de moins en moins semblables.

Enfin, l'idée d'un refroidissement lent et séculaire du soleil n'est en opposition, ni avec les lois de la physique, ni avec les observations astronomiques. Elle s'accorde avec l'hypothèse de Laplace sur la formation de notre système planétaire; avec les découvertes récentes faites sur les nébuleuses; avec les présomptions de plusieurs savants célèbres.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.





